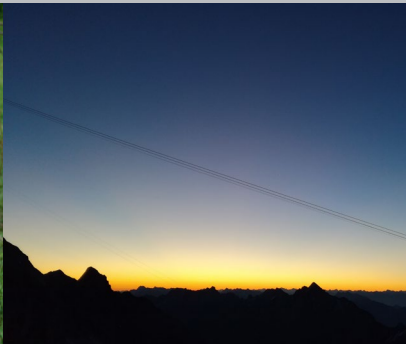


# Jahresbericht 2017





# Vorwort

Sehr geehrte Damen und Herren,  
liebe Leserinnen und Leser,

die Umweltwissenschaften schätzen quantitatives Wissen, zurecht, denn genaue Zahlen lassen sich zu soliden Argumenten weiterverarbeiten, mit Zahlen kann man Ziele setzen, man kann die Wirksamkeit getroffener Maßnahmen überprüfen, ebenso die Plausibilität von Theorien.

Doch neben dem begrifflich organisierten quantitativen Wissen gab und gibt es auch ein narratives Wissen, das sich in Geschichten manifestiert, ein Wissen, das nicht gelehrt, sondern erzählt wird. Seit Gründung des WZU befassen wir uns mit narrativen Ansätzen in den Umweltwissenschaften: Besonders die *Stoffgeschichten* wurden ein Aushängeschild des WZU. Geschichten von Stoffen sind für uns nicht nur eine Vorstufe zu quantitativen Theorien, uns geht es nicht darum, ein „life-cycle-assessment light“ durchzuführen. Vielmehr ist eine Stoffgeschichte, etwa des Aluminiums, etwas völlig anderes als eine Energie- und Umweltbilanz dieser Substanz. Beide Wissensformen, das Quantitative und das Narrative, ergänzen sich. Narrative Ansätze eignen sich in einer unübertrefflichen Weise, sich mit vielschichtigen Phänomenen bekannt zu machen, sie ins Gespräch zu bringen. Begriffliche Ansätze hingegen müssen immer definierte, eingeschränkte Perspektiven einnehmen.

Stoffgeschichten erzählen von den Ökosystemen, von den gesellschaftlichen Szenen, die jene Materialien, mit denen wir täglich umgehen, durchquert haben. Sie berichten von den globalen Wegen, die viele Stoffe hinter sich haben. Die wechselvolle Vorgeschichte der Substanzen,

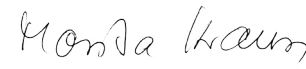
die im fertigen Produkt ausgeblendet wird, tritt ins Licht. Verdrängtes und Fragwürdiges tauchen auf. Am Leitfaden der Stoffe zeigen sich in scharfer, neuartiger Beleuchtung die ökologischen und politischen Konflikte unserer globalisierten Welt. Die vom WZU herausgegebene, bei oekom verlegte Buchreihe „Stoffgeschichten“ ist, mit dem soeben erschienenen neuen Band *Seltene Erden*, verfasst von Luitgard Marschall und Heike Holdinghaus, inzwischen zehnbändig.

Der folgende Jahresbericht macht Sie, etwa am Beispiel der terra preta, der Seltenen Erden oder auch des Salpeters, mit unseren stoffgeschichtlichen Forschungsprojekten bekannt. Daneben stellen wir weitere Aktivitäten vor, so aus den Bereichen Umwelt und Gesundheit oder Ressourcenstrategie.

Spannung macht eine gute Geschichte aus; sie ist freilich auch schon Voraussetzung dafür, sich überhaupt auf eine Lektüre, auf das Zuhören einzulassen. In diesem Sinn freuen wir uns über Ihr Interesse, stehen bereit für Fragen und freuen uns, wenn Sie uns selbst etwas zu unseren Themen erzählen möchten.



Prof. Dr. Armin Reller



Prof. Dr. Marita Krauss



Prof. Dr. Jucundus Jacob



PD Dr. Jens Soentgen

# Inhalt

## UMWELT UND GESUNDHEIT

- 6 Einfluss lokaler Quellen auf die räumliche und zeitliche Verteilung ultrafeiner Partikel
- 11 Luftschadstoffe und Blutbiomarker
- 17 Umweltaerosol – Charakterisierung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Aerosolen in Augsburg
- 23 Streiflicht: Etablierung von Forschungsk Kooperationen zum Thema Environmental Health Sciences

## RESSOURCENSTRATEGIEN UND STOFFGESCHICHTEN

- 27 Lehrstuhl für Ressourcenstrategie
- 35 ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen
- 47 Wissensgeschichte der terra preta
- 53 Politische Ökologie im Anthropozän
- 58 Streiflicht: Kristalle der Macht

## LOKALE UMWELTEN

- 63 Virtuelles Alpenobservatorium (VAO)
- 66 VAO Teilprojekt: Statistisches Downscaling
- 70 VAO Teilprojekt: Monitoring und Analyse der Wasserflüsse
- 75 Betrachtung des regionalen CO<sub>2</sub>-Haushalts auf Basis atmosphärischer Messreihen
- 82 Das Projekt ISOBEL – Integratives Geschiebemanagement an der oberen Iller
- 88 Streiflicht: Neues von der Uni-Heide – Beweidungsprojekt
- 92 Streiflicht: Natur auf dem Campus

## ENVIRONMENTAL HUMANITIES

- 97 Geschichte der Nachhaltigkeit(en). Diskurse und Praktiken seit den 1970er Jahren
- 101 Fracking-Diskurs in Deutschland, Polen und Frankreich

## WISSENSVERMITTLUNG UND ANWENDUNG

- 105 Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen: Umweltschutz heute

## IM GESPRÄCH

- 109 mit Prof. Dr. Sean McGrath

## DAS WZU

- 114 Profil
- 115 Das Team am WZU
- 116 Die Mitglieder des WZU
- 121 Aktuelle Publikationen



# UMWELT UND GESUNDHEIT

- 6 Einfluss lokaler Quellen auf die räumliche und zeitliche Verteilung ultrafeiner Partikel
- 11 Luftschadstoffe und Blutbiomarker
- 17 Umweltaerosol – Charakterisierung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Aerosolen in Augsburg
- 23 Streiflicht: Etablierung von Forschungs Kooperationen zum Thema Environmental Health Sciences

# Einfluss lokaler Quellen auf die räumliche und zeitliche Verteilung ultrafeiner Partikel

## PROJEKTTEAM

- M.Sc. Esther Giemsa  
esther.giemsa@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3578
- Thomas Kusch  
thomas.kusch@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 5586 3259
- Dr. Josef Cyrus  
cyrus@helmholtz-muenchen.de  
Tel.: 089 3187 4156
- PD Dr. Jens Soentgen  
jens.soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560

## PROJEKTPARTNER

- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Luftreinhalteplanung und Luftreinhaltung im Verkehr, Dr. Mike Pitz
- Helmholtz Zentrum München (HMGU), Institut für Epidemiologie II, Dr. Josef Cyrus & Prof. Dr. Annette Peters

## FINANZIERUNG

- Fördermittelgeber des Forschungsvorhabens "Einfluss lokaler Quellen auf die räumliche und zeitliche Verteilung ultrafeiner Partikel" ist das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU), Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg.

## PROJEKTLAUFZEIT

- Januar 2017 – Dezember 2019

## Worum geht es?

Ultrafeine Partikel (UFP, Durchmesser  $< 100$  nm), die durch Verbrennungsprozesse entstehen und standortabhängig bis zu 90 % der in der Umwelt vorkommenden Partikel (bezogen auf die Partikelanzahlkonzentration) ausmachen, rücken zunehmend in den Fokus der öffentlichen Wahrnehmung, wodurch Fragestellungen hinsichtlich Messungen, Kennwerten und Bewertungen zunehmen. Ursächlich für diese Entwicklung sind die gesundheitsschädigenden Wirkungen der UFP, die epidemiologische und toxikologische Studien belegen. Sie zeigen auf, dass insbesondere UFP - die Kleinsten der Kleinen - tief in die Lunge vordringen, zelluläre Membranen überwinden und auf diesem Wege direkt ins Blut gelangen können, wo sie u. a. Reaktionen wie die Verdickung des Blutes und ein damit verbundenes erhöhtes Risiko für Herzinfarkte und Schlaganfälle hervorrufen können (Rückerl et al. 2011 & Frampton et al. 2000). Besonders negative gesundheitliche Auswirkungen konnten für Partikel nachgewiesen werden, die aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe (Laden et al. 2000) oder aus dem Straßenverkehr stammen (Peters et al. 2015).

Trotz der wissenschaftlichen Hinweise auf gesundheitsschädigende Wirkungen der UFP wird die Beweislage, aufgrund der im Verhältnis zum Feinstaub überschaubaren Anzahl von Studien und teilweise widersprüchlicher Ergebnisse, insgesamt als zu wenig aussagekräftig bewertet, um gesetzliche Regelungen für Immissionsgrenzwerte auszusprechen (Frampton et al. 2000). Zwar wurden mit der Anpassung des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern (LÜB) an die 39. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) bayernweit zusätzlich zu den bereits bestehenden Messstellen für  $PM_{10}$  (Feinstaub

## Einfluss lokaler Quellen auf die räumliche und zeitliche Verteilung ultrafeiner Partikel

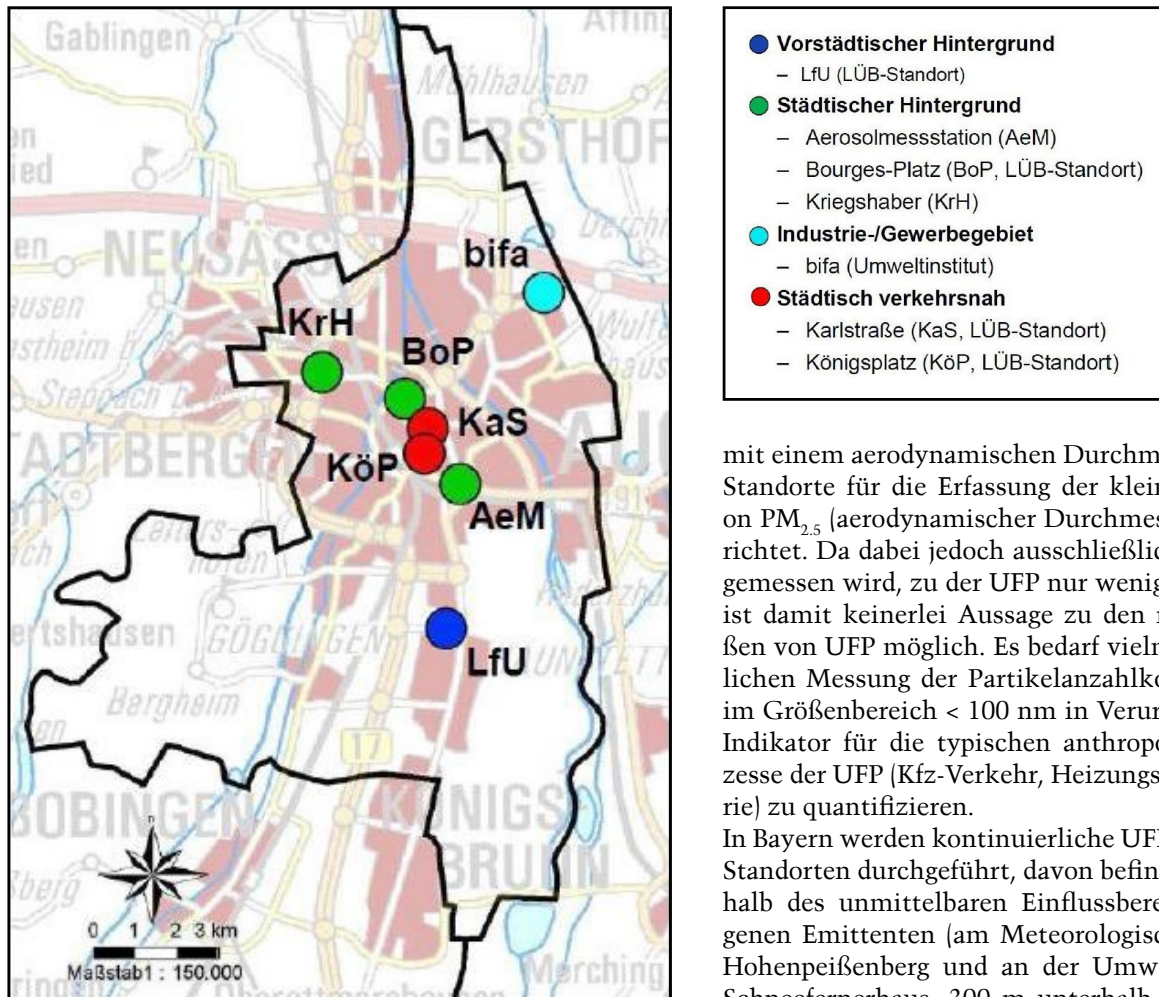


Abb. 1: Karte der Messstandorte in Augsburg inkl. ihrer Klassifizierung hinsichtlich der Immissionskategorien

mit einem aerodynamischen Durchmesser  $< 10 \mu\text{m}$ ), auch Standorte für die Erfassung der kleineren Partikelfraktion  $\text{PM}_{2.5}$  (aerodynamischer Durchmesser  $< 2.5 \mu\text{m}$ ) eingerichtet. Da dabei jedoch ausschließlich die Partikelmasse gemessen wird, zu der UFP nur wenige Prozent beitragen, ist damit keinerlei Aussage zu den relevanten Kenngrößen von UFP möglich. Es bedarf vielmehr der kontinuierlichen Messung der Partikelanzahlkonzentration ( $1/\text{cm}^3$ ) im Größenbereich  $< 100 \text{ nm}$  in Verursachernähe, um den Indikator für die typischen anthropogenen Bildungsprozesse der UFP (Kfz-Verkehr, Heizungsanlagen oder Industrie) zu quantifizieren.

In Bayern werden kontinuierliche UFP-Messungen an drei Standorten durchgeführt, davon befinden sich zwei außerhalb des unmittelbaren Einflussbereichs von anthropogenen Emittenten (am Meteorologischen Observatorium Hohenpeißenberg und an der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus, 300 m unterhalb des Zugspitzgipfels) und dienen zur Klimaüberwachung. Die dritte Messstation befindet sich im städtischen Hintergrund auf dem

# Einfluss lokaler Quellen auf die räumliche und zeitliche Verteilung ultrafeiner Partikel

Campus der Hochschule Augsburg. Sie wird dort seit 2004 vom Wissenschaftszentrum Umwelt der Universität Augsburg in Kooperation mit dem Helmholtz Zentrum München betrieben und detektiert ohne lokale Quellen in direkter Nähe den integrierten Beitrag sämtlicher urbaner Emissionen. Die Daten der Aerosolmessstation werden insbesondere zur Erforschung von Gesundheitseffekten im Rahmen der Kooperativen Gesundheitsforschung in der Region Augsburg (KORA) verwendet. Die UFP-Belastungssituation an charakteristischen Standorten in der Stadt, wie z.B. an Hauptverkehrsstraßen oder in Industriegebieten sowie in Wohngegenden mit hohem Anteil an Feststofffeuerungen, ist deshalb in Bayern bislang weitgehend unbekannt und es gibt nur wenige Erkenntnisse über die räumliche und zeitliche Verteilung ultrafeiner Partikel im Stadtgebiet.

Hier setzt das Forschungsprojekt an, indem UFP-Kennwerte verursacherabhängig, d.h. abhängig von verschiedenen anthropogenen lokalen Quellen, in der Stadt Augsburg orientierend über ein Kalenderjahr (2017) hinweg gemessen werden. Die Messungen werden anschließend qualitätsgesichert, bevor eine Auswertung hinsichtlich räumlicher und zeitlicher Verteilungsmuster sowie meteorologischer Einflüsse erfolgt und die Korrelationen mit relevanten Luftschadstoffen ( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , Stickoxide, Ozon), gemessen an den LÜB- (Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern) Stationen, ermittelt werden. Damit werden erstmalig Aussagen zur UFP-Belastungssituation in Abhängigkeit lokal vorherrschender Quellen im städtischen Bereich für Bayern möglich sein. Die gewonnenen Erkenntnisse können zudem auf vergleichbare Standorte in anderen (bayerischen) Städten übertragen werden und sollen damit die aufgezeigte Wissenslücke schließen helfen.

## Aktuelle Feldmesskampagne und Vergleichsmessungen

Gemäß der Vorgabe orientierender Messungen nach Anlage 1 der 39. BImSchV läuft die Messkampagne des Projekts seit Januar gleichmäßig verteilt über das Kalenderjahr 2017 an sechs ausgewählten Standorten im Augsburger Stadtgebiet, die das gesamte Spektrum urbaner Standort-Kategorien abdecken (s. Abb. 1):

- Bourges-Platz (städtischer Hintergrund)
- Karlstraße (verkehrsbezogen, hohe Belastung)
- Königsplatz (verkehrsbezogen, geringe Belastung)
- Kriegshaber (Wohngebiet mit hohem Anteil an Feststofffeuerungen)
- Landesamt für Umwelt (vorstädtischer Hintergrund)
- Umweltinstitut bifa (Industriegebiet mit Müllverbrennungsanlage inklusive des typischen Schwerlastverkehrs)

Dazu erfassen im sechswöchigen Turnus drei mobile UFP-Messgeräte der Firma Grimm vom Typ Environmental Dust Monitor (EDM) der Serie Ultra Fine Particle Counter (UFPC) 465 (s. Abb. 2) jeweils zwei Wochen lang kontinuierlich an den Standorten die Anzahlkonzentrationen im Größenbereich von 7 nm bis 2 µm zusammen mit den wichtigsten meteorologischen Parametern (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, Windgeschwindigkeit und -richtung sowie Niederschlagssummen). Vor und nach jeder mobilen Messrunde der sechs Stationen finden ebenfalls zwei Wochen lang Vergleichsmessungen der mobilen UFP-Messgeräte an der Aerosolmessstation statt, um die Qualität und Belastbarkeit der Messdaten

# Einfluss lokaler Quellen auf die räumliche und zeitliche Verteilung ultrafeiner Partikel

aus der Feldmessphase hinsichtlich Langzeitstabilität und Rückführbarkeit auf einen einheitlichen Standard (Aerosolmessstation) zu gewährleisten. Während dieser Zeit werden die mobilen UFPCs außerdem eingehenden Funktionskontrollen und Technikprüfungen unterzogen, sodass Aussagen zu Zuverlässigkeit und Eignung der Messtechnik in Anbetracht einer möglichen Integration der kontinuierlichen Überwachung von Partikelanzahl-

konzentrationen in die Immissionsmessnetze der Länder gemäß der geforderten Weiterentwicklung von europäischen Richtlinien getroffen werden können.

## Ausblick

Nach erfolgreich abgeschlossener Messkampagne erfolgt im anschließenden Arbeitspaket ab Januar 2018 die ausführliche Qualitätssicherung des umfangreichen Datensatzes als Basis der intensiven Datenanalyse und -auswertung mit unterschiedlichen statistischen Verfahren. Dabei stehen insbesondere die Ermittlung von standortabhängigen UFP-Kennwerten für das gesamte Kalenderjahr 2017, die Analyse von Tages- und Wochenverläufen sowie auffälligen Episoden der Immissionssituation, die raumzeitlichen Variationen der UFP-Belastung, die Identifikation und Quantifizierung von Zusatzbelastungen in Abhängigkeit lokal vorherrschender Quellen im Vergleich zur Belastung im städtischen Hintergrund, die Bewertung des Einflusses von meteorologischen Bedingungen auf die Bildung und Ausbreitung von UFP sowie die Korrelationen zwischen UFP und relevanten Luftschadstoffen (LÜB-Standorten) wie auch Partikelgrößenverteilungen (Aerosolmessstation) im Fokus der Untersuchungen.

## Literatur

- Rückerl, R., Schneider, A., Breitner, S., Cyrys, J., Peters, A. (2011): Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhalation Toxicology*, 23(10), S. 555-592.
- Frampton, M. W., Brauer, M., Kleeman, M., Kreyling, W. G., Ntziachristos, L., Ebel Sarnat, S. (2013): HEI Review Panel on Ultrafine Particles. Understanding the Health



Abb. 2: Exemplarisches mobiles UFP-Messgerät der Firma Grimm vom Typ Environmental Dust Monitor (EDM) der Serie Ultra Fine Particle Counter (UFPC) 465 in geschlossener (links) und geöffneter (rechts) Ansicht

# Einfluss lokaler Quellen auf die räumliche und zeitliche Verteilung ultrafeiner Partikel

Effects of Ambient Ultrafine Particles. HEI Perspectives 3. *Health Effects Institute*, Boston, MA. S. 108.

- Laden, F., Neas, L. M., Dockery, D. W., Schwartz, J. (2000): Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U. S. cities. *Environmental Health Perspectives*, 108, S. 941-947.
- Peters, A., Hampel, R., Cyrys, J., Breitner, S., Geruschkat, U., Kraus, U., Zareba, W., Schneider, A. (2015): Elevated particle number concentrations induce immediate changes in heart rate variability: a panel study in individuals with impaired glucose metabolism or diabetes. *Particle and Fibre Toxicology*, 12:7, DOI 10.1186/s12989-015-0083-7.



# Luftschadstoffe und Blutbiomarker

## PROJEKTTEAM

- Dr. Josef Cyrys  
cyrys@helmholtz-muenchen.de  
Tel.: 089 3187 4156
- Dr. Regina Pickford (geb. Rückerl)  
regina.pickford@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 089 3187 3660
- Prof. Dr. Armin Reller  
armin.reller@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3000
- PD Dr. Jens Soentgen  
soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560

## PROJEKTPARTNER

- Helmholtz-Zentrum München, Institut für Epidemiologie II, München
- Universitätsklinikum Ulm, Ulm
- Deutsches Herzzentrum, München
- Deutsches Diabetes-Zentrum, Düsseldorf

## FÖRDERUNG

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unter dem Geschäftszeichen RU 1453/1

## PROJEKTLAUFZEIT

- Juni 2013 bis Mai 2017

## Langzeitexposition gegenüber Luftschadstoffen an der Wohnadresse und Blutbiomarker in Augsburg und Umgebung

### Worum geht es?

Epidemiologische Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen Außenluftschadstoffen und kardiovaskulärer Morbidität und Mortalität. Eine vor allem durch Partikel in der Außenluft hervorgerufene Entzündungsreaktion, die sich von der Lunge in den gesamten Körper ausbreitet, spielt dabei vermutlich eine wichtige Rolle. Diese Entzündungsreaktion lässt sich mit einer Reihe von Biomarkern im Blut nachweisen.

In der Vergangenheit haben eine Reihe epidemiologischer Studien bereits einen Zusammenhang zwischen kurzfristigen Änderungen der Luftschadstoffe und der Höhe verschiedener Blutbiomarker gezeigt (Ruckerl et al. 2007, Hildebrandt et al. 2009, Ruckerl et al. 2014). Der Zusammenhang mit einer längerfristig erhöhten Exposition, beispielsweise am Wohnort, wurde bisher in deutlich weniger Studien untersucht. Lanki et al. (2015) fanden einen Zusammenhang zwischen der NO<sub>x</sub>-Konzentration sowie der Verkehrsintensität am Wohnort und C-reaktivem Protein (CRP), einem Blutbiomarker für eine systemische Entzündungsreaktion, in sechs europäischen Kohortenstudien. Eine Querschnittsstudie aus Taiwan zeigte erhöhte Werte für Interleukin-6, einem Zytokin, das Entzündungsreaktionen im Körper in Assoziation mit erhöhten Grobstaub (PM<sub>10</sub>) und Feinstaubwerten (PM<sub>2.5</sub>) reguliert (Chuang et al. 2011). Eine weitere Studie aus Taiwan fand einen

# Luftschadstoffe und Blutbiomarker

Zusammenhang zwischen dem 2-Jahresmittel von  $PM_{2.5}$  und CRP (Zhang et al. 2017).

## Zielsetzung und Methoden

In diesem Projekt wurde der Zusammenhang zwischen der langfristigen Konzentration der Luftschadstoffe an der Wohnadresse und einer Reihe von Blutbiomarkern untersucht. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die in diesem Projekt untersuchten Zytokine, Chemokine, Adipokine sowie Akute-Phase-Proteine.

Zytokine sind Signalproteine, die eine Kommunikation zwischen den Zellen ermöglichen. Chemokine, eine Untergruppe der Zytokine, lösen bei Zellen eine Wanderungsbewegung aus. Bei Adipokinen handelt es sich um Fettgewebshormone, die beispielsweise das Hungergefühl und die Nahrungsaufnahme regulieren. Sie stehen auch im Zusammenhang mit Insulin, dem Hormon der Bauchspei-

<b>Zytokine</b>	TGF- $\beta$ 1, Interleukin-6 (IL-6), Tumor Necrose Faktor- $\alpha$ (TNF $\alpha$ )
<b>Chemokine</b>	RANTES/CCL5, IL*-8, Interferon- $\gamma$ -inducible protein C (IP-10), Monocyte chemoattractant protein-1 (MCP-1, CCL2))
<b>Adipokine</b>	Adiponektin
<b>Akute-Phase-Proteine</b>	C-reaktives Protein (CRP), Fibrinogen, Serum Amyloid A (SAA)

Tab.: 1: Untersuchte Blutbiomarker

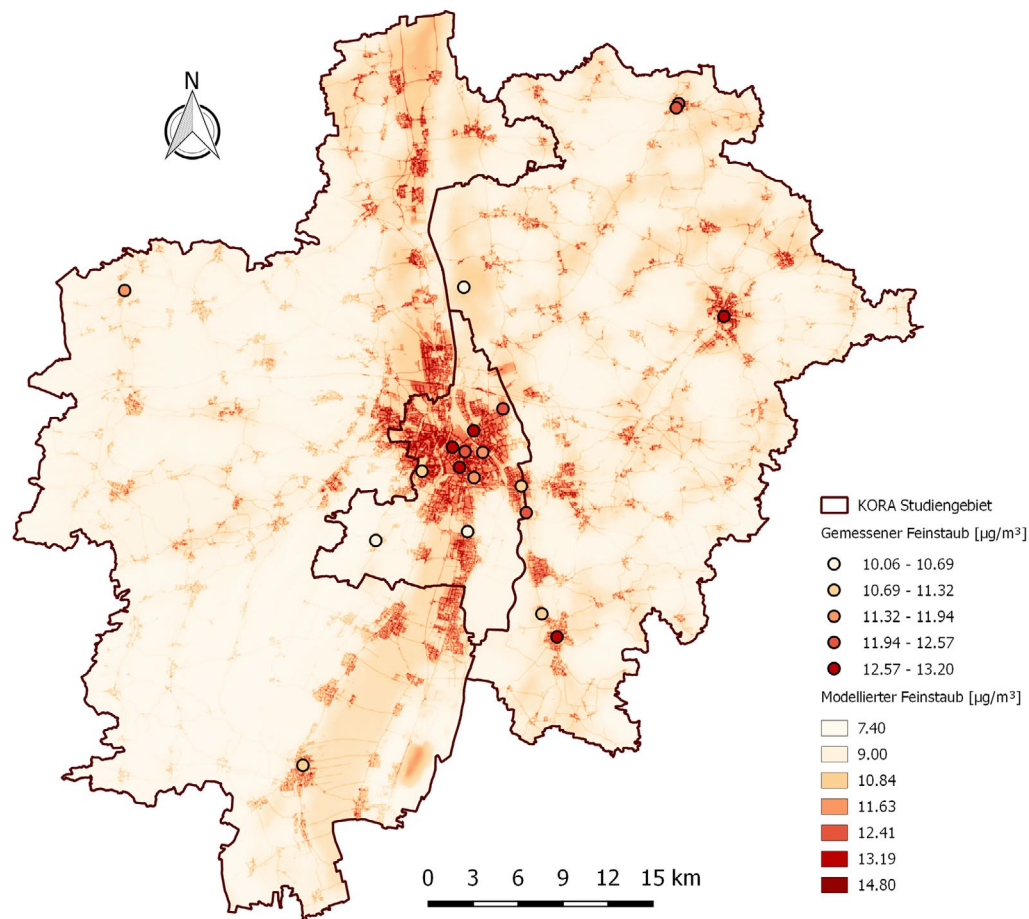
cheldrüse, das eine maßgebliche Rolle bei der Entwicklung von Diabetes mellitus hat. Akute-Phase-Proteine steigen im Rahmen einer unspezifischen Immunreaktion, der so genannten Akute-Phase-Reaktion, beispielsweise bei Gewebsschädigungen wie Verletzungen, Operationen oder Infektionen, akut an und können um das Tausendfache erhöht sein.

## Durchführung und Ergebnisse

Im Rahmen der KORA (Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg) Studie wurde allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern der KORA S4 Studie (1999 bis 2001) einmalig Blut abgenommen und eine Reihe von Blutmarkern (s. Tabelle 1) bestimmt. Die jeweiligen Wohnadressen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden geokodiert und die Luftschadstoffkonzentrationen mit Hilfe sogenannter Landnutzungsmodelle geschätzt. Hierfür wurden im Rahmen der europaweiten ESCAPE (European Study of Cohorts for Air Pollution Effects) Studie Partikel verschiedener Größenfraktionen ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ ),  $PM_{2.5}$  absorbance, einem Marker für den Rußgehalt, und Stickoxide ( $NO_2$ ,  $NO_x$ ) an 20 (PM) bzw. 40 ( $NO_x$ ) verschiedenen Orten im Großraum München/Augsburg während dreier über das Jahr verteilter 14-Tages-Zeiträume gemessen. Bei der Auswahl der Messstandorte wurde auf eine Mischung aus straßennahen Standorten sowie städtischem und regionalem Hintergrund geachtet. Zusätzlich dienten die kontinuierlichen Hintergrundmessungen der Aerosolmessstation an der Hochschule Augsburg dazu, die Modelle hinsichtlich der mittleren Langzeitkonzentrationen anzupassen. Um die Messstandorte und die Wohnadressen der Teilnehmerinnen und Teilnehmer wurden Umkreise,



## Feinstaubkonzentrationen in der Region Augsburg



Data sources: © GeoBasis-DE / BKG 2016 (<http://www.bkg.bund.de>)

Abb. 1: Modellierte Feinstaubkonzentrationen in der Region Augsburg für ein Raster mit 50 m Auflösung

## Luftschadstoffe und Blutbiomarker

sogenannte Buffer, in verschiedenen Größen gezogen. Anschließend wurden für diese Buffer bzw. Adresspunkte Prädiktoren wie beispielsweise die Bevölkerungszahl und Haushaltsdichte, verschiedene Landnutzungsvariablen wie Wohngebiete, Industriegebiete oder Wald und verschiedene Verkehrsvariablen wie beispielsweise die Verkehrsintensität oder die Entfernung zur nächstgelegenen Straße berechnet.

Basierend auf den mittleren Schadstoffkonzentrationen pro Messstandort wurde für jeden Schadstoff ein eigenes Regressionsmodell entwickelt. Abbildung 1 zeigt die geschätzte langfristige Höhe von  $PM_{2.5}$  in Augsburg.

Dieses abschließende Landnutzungsmodell wurde dann auf die einzelnen Wohnadressen angewendet und die daraus geschätzte langfristige Luftschadstoffexposition als jährliche Mittel an der Wohnadresse schließlich mit den Blutbiomarkerdaten in Verbindung gebracht. Innerhalb der Modelle wurde dabei für zusätzliche Variablen adjustiert, die in zwei Blöcke eingeteilt wurden: 1) sozio-ökonomische Variablen wie Einkommen, Ausbildungsjahre, Familienstand und 2) Lebensstil wie Alkoholkonsum, Rauchen oder körperliche Bewegung.

Neben den oben genannten Luftschadstoffen wurden in unseren Analysen auch die Verkehrsintensität an der nächstgelegenen Straße, die Verkehrslast auf größeren Straßen innerhalb von 100 m um die Wohnadresse sowie die Vegetationsdecke, die so genannte „Greenness“, um den Wohnort betrachtet.

Erste Analysen zeigen einen Anstieg von CRP und Adiponektin im Zusammenhang mit erhöhter Verkehrsintensität, gemessen als die durchschnittliche Anzahl der Fahrzeuge an der nächstgelegenen Straße pro 24h, und er-

höhter Verkehrslast im Umkreis von 100 m um die Wohnadresse (s. Abbildung 2). Für Fibrinogen zeigten sich bei erhöhten  $NO_2$ -Werten am Wohnort ein Anstieg sowie eine leichte, allerdings nicht statistisch signifikante Abnahme im Zusammenhang mit Greenness am Wohnort. Weitere Ergebnisse stehen noch aus.

Die ersten Ergebnisse deuten darauf hin, dass neben einer kurzfristigen auch eine längerfristige Luftschadstoff-Exposition zu einer Entzündungsreaktion führen kann. Dabei scheint der Verkehr eine besondere Rolle zu spielen, während Grünflächen protektiv wirken. Für eine eindeutige

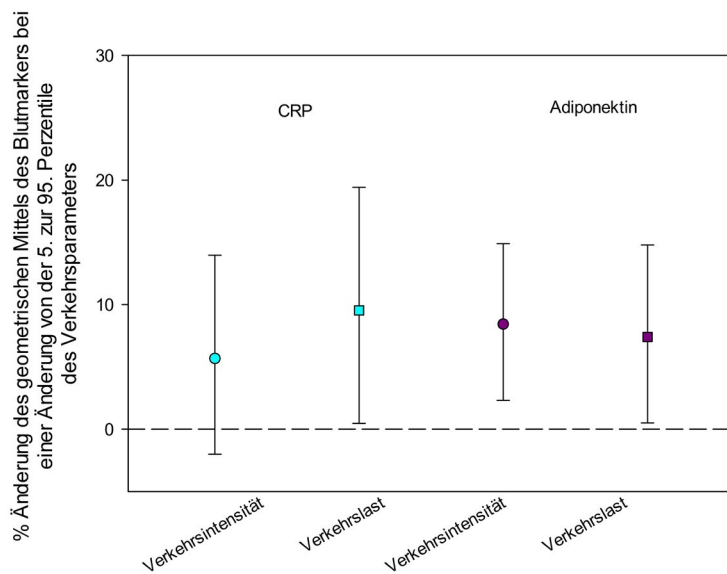


Abb. 2: Zusammenhang zwischen Verkehrsparametern und Blutmarkern

# Luftschadstoffe und Blutbiomarker

Einschätzung müssen allerdings zunächst noch die weiteren Blutmarker analysiert und anschließend die Ergebnisse in ihrer Gesamtheit betrachtet werden.

## Ausblick

Im Rahmen der ULTRA III Studie ("Environmental Nanoparticles and Health: Exposure, Modeling and Epidemiology of Nanoparticles and their Composition within KORA") wurde, zusätzlich zu den in ESCAPE erhobenen Luftschadstoffen, eine Messkampagne und Modellierung der Luftschadstoffe für ultrafeine Partikel (und Ozon) durchgeführt und damit eine wichtige Informationslücke gefüllt. Daher stehen für Augsburg inzwischen auch Daten für die Anzahlkonzentration ultrafeiner Partikel an den Wohnadressen der Studienteilnehmer zur Verfügung. Erste Analysen zeigten einen Zusammenhang zwischen PM<sub>10</sub> und ultrafeinen Partikeln mit der Höhe des CRP bei Probanden der KORA FF4 Studie (2013 bis 2014) (Pilz et al. 2017, under review). Ergebnisse zu weiteren Gesundheitsauswirkungen, z.B. zur Diabetesprävalenz bzw. -inzidenz, werden in den nächsten Jahren hinzukommen.

## Literatur

- Chuang, K. J., Yan, Y. H., Chiu, S. Y., Cheng, T. J. (2011): Long-term air pollution exposure and risk factors for cardiovascular diseases among the elderly in Taiwan. *Occup. Environ. Med.* 68 (1), S. 64-68.
- Hildebrandt, K., Rückerl, R., Koenig, W., Schneider, A., Pitz, M., Heinrich, J., Marder, V., Frampton, M., Oberdorster, G., Wichmann, H. E., Peters, A. (2009): Short-Term effects of air pollution: a panel study of blood markers in patients with chronic pulmonary disease. *Part.*

*Fibre. Toxicol.* 6, S. 25.

- Lanki, T., Hampel, R., Tiittanen, P., Andrich, S., Beelen, R., Brunekreef, B., Dratva, J., De Faire, U., Fuks, K. B., Hoffman, B., Imboden, M., Jousilahti, P., Koenig, W., Mahabadi, A. A., Kunzli, N., Pedersen, N. L., Penell, J., Pershagen, G., Probst-Hensch, N. M., Schaffner, E., Schindler, C., Sugiri, D., Swart, W. J., Tsai, M. Y., Turunen, A. W., Weinmayr, G., Wolf, K., Yli-Tuomi, T., Peters, A. (2015): Air Pollution from Road Traffic and Systemic Inflammation in Adults: A Cross-Sectional Analysis in the European ESCAPE Project. *Environ. Health Perspect.* 123(8), S. 785-791.
- Pilz, V., Wolf, K., Breitner, S., Rückerl, R., Koenig, W., Rathmann, W., Cyrys, J., Peters, A., Schneider, A. (2017): C-reactive protein (CRP) and long-term residential exposure to air pollution with a focus on ultrafine particles. *International Journal of Hygiene and Environmental Health.* (under review).
- Rückerl, R., Greven, S., Ljungman, P., Aalto, P., Antoniadou, C., Bellander, T., Berglind, N., Chrysoshoou, C., Forastiere, F., Jacquemin, B., von Klot, S., Koenig, W., Kuchenhoff, H., Lanki, T., Pekkanen, J., Perucci, C. A., Schneider, A., Sunyer, J., Peters, A., Group, A. S. (2007): Air pollution and inflammation (interleukin-6, C-reactive protein, fibrinogen) in myocardial infarction survivors. *Environ. Health Perspect.* 115(7), S. 1072-1080.
- Rückerl, R., Hampel, R., Breitner, S., Cyrys, J., Kraus, U., Carter, J., Dailey, L., Devlin, R. B., Diaz-Sanchez, D., Koenig, W., Phipps, R., Silbajoris, R., Soentgen, J., Soukup, J., Peters, A., Schneider, A. (2014): Associations between ambient air pollution and blood markers of inflammation and coagulation/fibrinolysis in susceptible populations. *Environ. Int.* 70, S. 32-49.

## Luftschadstoffe und Blutbiomarker

- Zhang, Z., Chang, L. Y., Lau, A. K. H., Chan, T. C., Chieh Chuang, Y., Chan, J., Lin, C., Kai Jiang, W., Dear, K., Zee, B. C. Y., Yeoh, E. K., Hoek, G., Tam, T., Qian Lao, X. (2017): Satellite-based estimates of long-term exposure to fine particulate matter are associated with C-reactive protein in 30 034 Taiwanese adults. *Int. J. Epidemiol.*, DOI: 10.1093/ije/dyx069.

# Umweltaerosol – Charakterisierung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Aerosolen in Augsburg

## PROJEKTTEAM

- Dr. Josef Cyrys  
cyrys@helmholtz-muenchen.de  
Tel.: 089 3187 4156
- PD Dr. Jens Soentgen  
soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560
- M. Sc. Esther Giemsa  
esther.giemsa@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3578
- Thomas Kusch  
thomas.kusch@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 5586 3259
- Klaus Hager  
klaus.hager@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2670
- PD Dr. Christoph Beck  
christoph.beck@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2129

## PROJEKTPARTNER

- Aerosol Akademie e.V.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt
- Deutscher Wetterdienst
- GRIMM Aerosol Technik Ainring GmbH & CO.KG
- Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Institut für Epidemiologie II
- Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Kooperationsgruppe Comprehensive

## Molecular Analytics

- Hochschule Augsburg
- Leibnitz-Institut für Troposphärenforschung e.V.
- Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Institut für Atmosphärische Umweltforschung
- Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Telematik, Lehrstuhl für Pervasive Computing Systems /TECO
- KORA Studienzentrum (Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg)
- Ludwig-Maximilians-Universität München
- Swiss Tropical and Public Health Institute
- Technische Universität Graz
- THL National Institute for Health and Welfare
- Umweltamt der Stadt Augsburg
- Umweltbundesamt
- Universitäres Zentrum für Gesundheitswissenschaften am Klinikum Augsburg (UNIKA-T)
- Utrecht University

## FÖRDERUNG

- Helmholtz Zentrum München, Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt (GmbH), Institut für Epidemiologie II

## PROJEKTLAUFZEIT

- Seit 2004

# Umweltaerosol – Charakterisierung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Aerosolen in Augsburg

## Worum geht es?

Die Augsburger Aerosolmessstation bietet seit 2004 eine Plattform für Projekte aus dem Expositionsbereich sowie für epidemiologische Studien. Sie ist in das deutsche Messnetz für ultrafeine Aerosolpartikel (GUAN, German Ultrafine Aerosol Network) eingebunden. Im GUAN sind gegenwärtig 17 Messstationen vertreten, die zur Erforschung der gesundheits- und klimarelevanten Eigenschaften des atmosphärischen Aerosols in Deutschland beitragen. Außerdem ist die Messstation Teil eines bayernweiten Verbunds von Messstationen, die kontinuierlich Konzentrationen von Luftschadstoffen erfassen. Wie diese Luftschadstoffe im urbanen Raum entstehen, wie sie sich gesundheitlich auswirken und welche Maßnahmen geeignet sind, um sie zu bekämpfen, das wird an der Universität Augsburg seit über 10 Jahren in enger Kooperation mit dem Helmholtz Zentrum München (Institut für Epidemiologie II) erforscht. Diese Forschung bringt Ergebnisse hervor, die für die Praxis relevant sind, und die international publiziert werden. Sie spielt auch im Hinblick auf die Neugründung der Universitätsmedizin in Augsburg mit dem Schwerpunkt Environmental Health Sciences eine wichtige Rolle.

Grundlegend für unseren Ansatz ist die langjährige, erfolgreiche und disziplinübergreifende Kooperation zwischen Naturwissenschaftlern, Epidemiologen, Mathematikern und Umweltsozialwissenschaftlern. Diese Zusammenarbeit findet auch in den seit 2009 regelmäßig stattfindenden Treffen der Projektgruppe "Klima, Aerosole, Gesundheit" Ausdruck. Die ca. 25 Gruppenmitglieder aus verschiedenen Forschungsinstitutionen im süddeutschen Raum tauschen sich dabei – über Disziplinengrenzen hinweg – zu den aktuellsten Forschungsergebnissen sowie Anwendungen

innovativer Ansätze und Methoden aus.

Schwerpunkt unseres Interesses ist die Aerosolforschung. Aerosolpartikel kommen in der Luft in unterschiedlichster Konzentration, Zusammensetzung, Größe und Form vor und sind hoch komplexe und dynamische Gemische, die insbesondere im städtischen Bereich anthropogenen Ursprungs sind und aus den Abgasen von Autos, Häusern und Betrieben entweichen. Somit stellt sich die Frage welche Eigenschaften und/oder Komponenten des Umweltaerosols sind für die gesundheitlichen Folgen verantwortlich? Eine Klärung dieser Frage kann nur durch eine detaillierte physikalische und chemische Charakterisierung der Umweltpartikel erfolgen. Der Einsatz einer zentralen Messstation zur Abschätzung der Exposition großer Bevölkerungsgruppen ist aber nur dann gerechtfertigt, wenn die Luftschadstoffe homogen über das Studiengebiet verteilt sind, in denen die zu untersuchenden Personen leben. Deshalb wurden in speziellen Intensivmesskampagnen an verschiedenen Standorten im Stadtgebiet von Augsburg die räumlichen Variationen der Belastung durch Luftschadstoffe abgebildet. Die Messungen werden durch Landnutzungs-, Dispersionsmodelle und Fernerkundungsdaten ergänzt, um so eine präzise Expositionsabschätzung der Bevölkerung zu erhalten.

## Zielsetzung und Methoden

Die Aerosolmessstation steht seit 2004 im Mittelpunkt der Environmental Health-Aktivitäten am Wissenschaftszentrum Umwelt. Sie wird von der Universität Augsburg und dem Helmholtz Zentrum München in Kooperation (HMGU) mit der Hochschule Augsburg betrieben. Die Messstation liefert kontinuierlich hoch aufgelöste und



# Umweltaerosol – Charakterisierung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Aerosolen in Augsburg

hochwertige Daten zur physikalischen und chemischen Charakterisierung von feinen und ultrafeinen Partikeln, welche die mittlere Belastung der Stadt widerspiegeln und somit für einen Großteil der Augsburger Bevölkerung re-

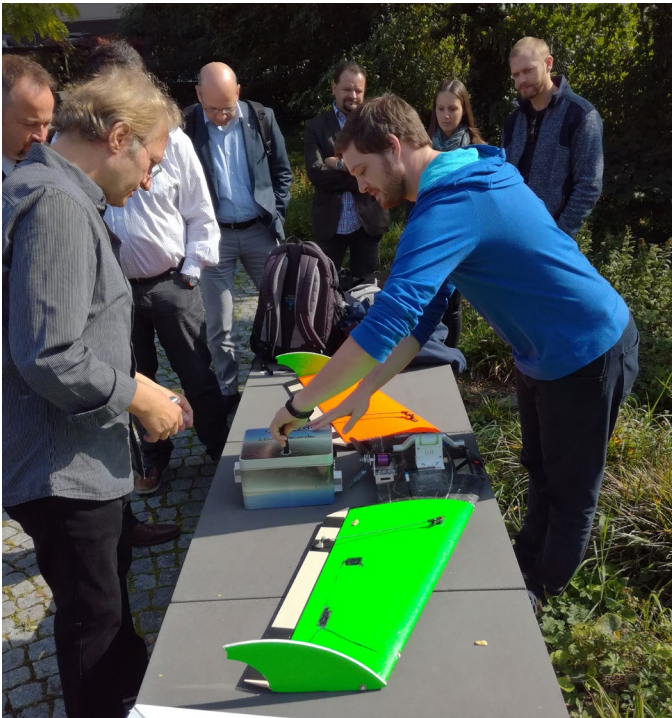
präsentativ sind. Zudem werden meteorologische Größen erfasst, die Einfluss auf die Feinstaubbelastung haben können. Folgende Aspekte stehen derzeit im Mittelpunkt der Forschungsaktivitäten:

- Identifizierung der wichtigsten lokalen und überregionalen Feinstaubquellen
- Dokumentation zeitlicher Trends der Feinstaubbelastung
- Untersuchung der Auswirkungen von Maßnahmen zur Feinstaubreduzierung (z.B. Umweltzone)
- Modellierung von Luftschadstoffen, um die Exposition der Bevölkerung besser zu erfassen
- Bereitstellung von Daten für epidemiologische Studien, welche die Gesundheitsrelevanz von Luftschadstoffen untersuchen

## Durchführung und Ergebnisse

Das Projektteam war im Berichtszeitraum an folgenden Projekten beteiligt:

- HMGU Projekt: "Exposure, Modeling and Epidemiology of Nanoparticles and their Composition within KORA" (ULTRA III)
- LfU Projekt: "Einfluss lokaler Quellen auf die räumliche und zeitliche Verteilung ultrafeiner Partikel" (siehe folgender Beitrag)
- UBA Projekt: „Quantifizierung von umweltbedingten Krankheitslasten aufgrund der Stickstoffoxide – Exposition in Deutschland“
- BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur) Verbundprojekt „Smart Air Quality



*Abb. 1: Stadträte der Stadt Augsburg sowie der Leiter des Umweltamtes, Hans Peter Koch und Umweltreferent Reiner Erben besuchten im Herbst die Messstation, um sich über die Forschung im Bereich Umwelt und Gesundheit zu informieren. Hier wird ein mit Messgeräten ausgestatteter Flugroboter (UAV) gezeigt.*

# Umweltaerosol – Charakterisierung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Aerosolen in Augsburg

Network – Analyse und Bewertung neuer Luftgütemessmethoden und Wissenschaftskommunikation an Öffentlichkeit und spezielle Stakeholder“

- EU Projekt: „AWAIR - Environmental integrated, multilevel knowledge and approaches to counteract critical air pollution events, improving vulnerable citizens quality of life in Central Europe Functional Urban Areas“
- EU Projekt: „ELAPSE - Effects of Low-Level Air Pollution: A Study in Europe“
- DFG-Projekt: „Klimawandel und Feinstaub in Bayern“ (PACCLIMBA – Particulate Matter and Climate Change in Bavaria)

Den Schwerpunkt der Arbeiten im Jahr 2017 bildeten die Projekte ULTRA III, das LfU-Projekt sowie das Smart Air Quality Network (SmartAQnet) -Projekt. Ein weiterer Schwerpunkt stellte die Aufarbeitung und Validierung des gesamten Datensatzes sowie die Modernisierung der Messstation dar. Im Folgenden wird exemplarisch das SmartAQnet Projekt näher beschrieben.

Das Verbundprojekt hat zum Ziel u. a. die Entwicklung eines intelligenten, reproduzierbaren Messnetzwerkes in der Modellregion Augsburg, welches die derzeit verfügbaren Luftqualitäts- (insbesondere Feinstaub) und Meteorologie-Daten mittels bestehender Technologien erfasst.

Des Weiteren werden neue, mobile, preiswerte Messtechnologien entwickelt und zum Einsatz gebracht, welche zusätzlich zu den bereits existierenden stationären Messstationen „mobile“ Daten generieren sollen. Somit werden, möglichst in Echtzeit, aussagefähige „lokale“ Daten erzeugt, welche als Basis für individuelle Entscheidungen wie auch für weitergehende Auswertungen und Applikationen dienen können. Das Datennetzwerk soll stationäre

und mobile Daten so erfassen und darstellen, dass diese Messwerte zukünftig für Wissenschaft, Behörden und Bürger gleichermaßen nutzbringend eingesetzt werden können. So können aus dem Messnetzwerk generierte Daten von Stadtplanern oder Bürgern praxisnah angewandt und neuartige nachhaltige Anwendungen im Bereich Mobilität und städtischer Raum unterstützt werden. Die Projektarbeit begann im April 2017. Im Oktober 2017 hat eine Messkampagne begonnen, in der zunächst die neuen „Scientific-Scouts“ und die Low-Cost Messgeräte mit bereits etablierten Messgeräten verglichen werden.

Weitere Informationen zum aktuellen Projektstand sind auf der Projektwebseite [www.smartaq.net](http://www.smartaq.net) zu finden.

## Ausblick

In der kommenden Periode werden die Identifikation und Quantifizierung der wichtigsten lokalen Quellen der Luftschadstoffe sowie die Bewertung des Einflusses von meteorologischen Bedingungen auf die Bildung und Ausbreitung von feinen und ultrafeinen Partikeln weiterhin gewichtige Bestandteile der Aktivitäten bleiben. Darüber hinaus wird die Beurteilung und Abschätzung der Maßnahmen zur Luftreinhaltung ebenfalls eine wichtige Rolle spielen (AWAIR).

Eine weitere wichtige Aufgabe für die zukünftigen Aktivitäten ist die Einbindung der Messstation in die NAKO Gesundheitsstudie. Die NAKO wird in den kommenden Jahrzehnten die deutschlandweit größte verfügbare Ressource an Gesundheitsdaten, u. a. zu umweltbezogenen Erkrankungen sein. Gerade die Langzeiteffektstudien benötigen eine räumlich differenzierte Langzeitexposition von Luftschadstoffen, welche dann individuell den Teilnehmern der jeweils untersuchten Kohorte zugewiesen



# Umweltaerosol – Charakterisierung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Aerosolen in Augsburg

werden können. Die im ULTRA III Projekt generierten Modelle der räumlichen Verbreitung der Luftschadstoffe werden durch das im SmartAQnet Projekt entwickelte Datennetzwerk validiert und eine Modellierung der persönlichen Exposition wird angestrebt. Die räumliche und zeitliche Modellierung der Luftschadstoffe soll auch durch Anwendung weiterer Modelansätze (Dispersionsmodellierung, kleinräumige Chemie-Transportmodelle, Nutzung von Satellitendaten) ausgebaut werden.

Schließlich soll auch die langjährige Zusammenarbeit zwischen dem WZU und dem Helmholtz Zentrum München (HMGU) im Kontext des Forschungsschwerpunktes Environmental Health Sciences der zukünftigen Medizinischen Fakultät der Universität Augsburg vertieft werden. So sollen die Aktivitäten an der Messstation in ein interdisziplinäres Projekt „Joint Center for Environmental Exposure Sciences“ eingebunden werden, in dem das WZU zusammen mit dem HMGU mit verschiedenen wissenschaftlichen und klinischen Partnern langfristig an der gemeinsamen wissenschaftlichen Fragestellung arbeiten wird, um Determinanten und Einflussfaktoren auf chronische Erkrankungen epidemiologisch zu untersuchen.

## Literatur

- Birmili, W., ..., Cyrys, J., Pitz, M., Gu, J., Kusch, T., ..., Fiebig, M. (2016): Long-term observations of tropospheric particle number size distributions and equivalent black carbon mass concentrations in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN). *Earth Syst. Sci. Data* 8, S. 355–382.
- Fensterer, V., Küchenhoff, H., Maier, V., Pitz, M., Cyrys, J., Breitner, S., Schneider, A., Geruschkat, U., Peters, A. (2016): Personal exposure to ultrafine particles: Two-level statistical 1 modeling of background exposure and 2 time-activity patterns during three seasons. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 26, S. 17-25.
- Fuks, K. B., ..., Hampel, R., ..., Wolf, K., ..., Cyrys, J., ..., Peters, A., Hoffmann, B. (2017): Long-term exposure to ambient air pollution and traffic noise and incident hypertension in seven cohorts of the European study of cohorts for air pollution effects (ESCAPE), *European Heart Journal*, 38(13), S. 983-990.
- Jedynska, A., ..., Cyrys, J., ..., Kooter, I. M. (2017): Spatial variations and development of land use regression models of oxidative potential in ten European study areas. *Atmospheric Environment* 150, S. 24-32.
- Lanzinger, S., Schneider, A., Breitner, S., Stafoggia, M., Erzen, L., Dostal, M., Pastorkova, A., Bastian, S., Cyrys, J., Zscheppang, A., Kolodnitska, A., Peters, A. for the UFIREG study group (2016): Ultrafine and Fine particles and hospital admissions in Central Europe, Results from the UFIREG study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 194 (10), S. 1233-1241.
- Pitchika, A., Hampel, R., Wolf, K., Kraus, U., Cyrys, J., Babisch, W., Peters, A., Schneider, A. (2017): Long-term associations of modeled and self-reported measures of exposure to air pollution and noise at residence on prevalent hypertension and blood pressure. *Science of The Total Environment*, 593-594, S. 337-346.
- Rückerl, R., Schneider, A., Hampel, R., Breitner, S., Cyrys, J., Kraus, U., Gu, J., Soentgen, J., Koenig, W., Peters, A. (2016): Association of novel metrics of particulate matter with vascular markers of inflammation and coagulation in susceptible populations – results from a

## Umweltaerosol – Charakterisierung der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Aerosolen in Augsburg

- panel study. *Environmental Research* 150, S. 337–347.
- Samoli, E., ..., Cyrys, J., ..., Stafoggia, M. on behalf of the UF&HEALTH Study group (2016): Exposure to ultrafine particles and respiratory hospitalizations in five European cities. *European Respiratory Journal* 48, S. 674-682.
  - Stafoggia, M., Schneider, A., Cyrys, J., ..., Peters, A., Quass, U., Yli-Tuomi, T., Forastiere, F. on behalf of the UF&HEALTH Study Group (2017): Association between short-term exposure to ultrafine particles and mortality in eight European urban areas. *Epidemiology* 2, S. 172-180.
  - Wolf, K., Cyrys, J., Harciníková, T., Gu, J., Kusch, T., Hampel, R., Schneider, A., Peters, A. (2017): Land use regression modeling of ultrafine particles, ozone, nitrogen oxides and markers of particulate matter pollution in Augsburg, Germany. *Science of The Total Environment* 579, S. 1531-1540.

# Streiflicht: Etablierung von Forschungsk Kooperationen zum Thema Environmental Health Sciences

## PROJEKTTEAM

- PD Dr. Christoph Beck  
christoph.beck@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2129
- PD Dr. Andreas Philipp  
andreas.philipp@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2266
- PD Dr. Jens Soentgen  
jens.soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560
- Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
jucundus.jacobeit@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2662

## Worum geht es?

Environmental Health Sciences heißt einer der beiden Forschungsschwerpunkte der entstehenden Augsburger Universitätsmedizin. In diesem Forschungsfeld werden die Einflüsse unterschiedlicher Umweltfaktoren auf die menschliche Gesundheit untersucht. Zugleich werden Möglichkeiten zur Vorsorge, der politischen und medizinischen Intervention entwickelt bzw. bewertet.

Unter maßgeblicher Beteiligung des Wissenschaftszentrums Umwelt (WZU) haben sich bereits im Vorfeld der Einrichtung der Medizinischen Fakultät an der Universität Augsburg verschiedene Forschungsk Kooperationen entwickelt, die unterschiedliche Fragestellungen innerhalb des Themenfeldes Environmental Health fokussieren und dabei die wissenschaftliche Expertise unterschiedlicher,

sich ergänzender Fachrichtungen zielgerichtet zusammenführen.

Neben Medizinerinnen des Klinikums Augsburg (derzeit insbesondere die Neurologische Klinik und die klinische Neurophysiologie, sowie die II. Klinik für Kinder und Jugendliche) sind an diesen Forschungsaktivitäten Klima- und Umweltwissenschaftler der Universität Augsburg (Lehrstuhl für Physische Geographie am Institut für Geographie, WZU), Umweltmediziner (Universitäres Zentrum für Gesundheitswissenschaften am Klinikum Augsburg – UNIKA-T) und Epidemiologen (Helmholtz Zentrum München - Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt, HMGU) beteiligt. Exemplarisch seien zwei aktuelle Forschungsprojekte hervorgehoben.

## Einflüsse von Umweltfaktoren auf Schlaganfallerkrankungen in der Region Augsburg

Schlaganfallerkrankungen sind eine der häufigsten Ursachen für Todesfälle und dauerhafte Pflegebedürftigkeit in Deutschland wie auch weltweit und sind, in ihrer Auftrittshäufigkeit und Schwere, neben bekannten Risikofaktoren (z.B. Bluthochdruck, Diabetes Mellitus und Rauchen) auch von den meteorologischen/klimatologischen (z.B. Lufttemperatur) und weiteren Umweltfaktoren (z.B. Feinstaubbelastung) beeinflusst.

Diese Zusammenhänge zwischen verschiedenen Umweltfaktoren und Schlaganfallerkrankungen in der Region Augsburg im Detail zu erforschen, ist das Ziel einer Forschungsk Kooperation zwischen Neurologen, Klima- und Umweltwissenschaftlern, Epidemiologen und Umweltmedizinerinnen. Es sollen diejenigen Umweltfaktoren

# Streiflicht: Etablierung von Forschungsk Kooperationen zum Thema Environmental Health Sciences

identifiziert werden, die nachweis- und quantifizierbaren Einfluss auf Schlaganfallerkrankungen haben. Hierbei werden – etwa mittels der Erstellung sogenannter Wetterlagenklassifikationen – explizit auch die synergetischen gesundheitsrelevanten Effekte berücksichtigt, die sich aus dem Zusammenwirken mehrerer Klima- und Umweltfaktoren (z.B. Lufttemperatur und Feinstaubkonzentration) ergeben.

Auf Grundlage der erzielten Erkenntnisse zur Wirkung von Klima-/Umwelteinflüssen auf Schlaganfallerkrankungen sollen in der Folge sowohl Abschätzungen kurzfristiger, wetter- und umweltbedingter Änderungen als auch Projektionen möglicher klimawandelbedingter langfristiger Änderungen des Schlaganfallrisikos im weiteren Verlauf des 21. Jahrhunderts generiert werden.

Entsprechende Aussagen sollen den Patienten und medizinischen Versorgungseinrichtungen erlauben, rechtzeitig adäquate präventive und kurative Maßnahmen zu treffen, um damit das Auftreten dieser folgenschweren Erkrank-

kung zu verhindern bzw. deren Folgeschwere durch eine optimal angepasste Versorgung zu minimieren.

## Thunderstorm Asthma in der Region Augsburg

Die Tatsache, dass Gewitter ein beträchtliches gesundheitliches Risiko für Asthmatiker und Allergiker darstellen, wurde einer breiten Öffentlichkeit bekannt, nachdem im November 2016 in Melbourne, Australien, nach einem Asthma-Gewitter innerhalb von fünf Stunden 1900 Notrufe aufgezeichnet, in den Notaufnahmen der örtlichen Krankenhäusern 8500 Patienten notfallmäßig versorgt werden mussten (darunter ein Drittel zuvor von Allergien nicht betroffener Personen) und es zu neun Asthma-bedingten Todesfällen gekommen war. Eine Häufigkeitszunahme von Asthmaanfällen in zeitlicher Nähe zu Gewittern wird auch am Zentralklinikum in Augsburg immer wieder beobachtet. Aufgrund dieser Erkenntnisse und angesichts der vermuteten Zunahme von Gewitterereignissen in Mitteleuropa im Zuge des Klimawandels kommt der Erforschung des Phänomens „Thunderstorm Asthma“ eine herausgehobene Bedeutung zu.

Die Augsburger Forschungskoooperation zur Thematik „Thunderstorm Asthma“, die sich aus Klima- und Umweltwissenschaftlern sowie Medizinern (Kinderpulmologie/-allergologie, Umweltmedizin) zusammensetzt, verfolgt das Ziel, das gegenwärtige gewitterbedingte Asthma-Risiko in der Region Augsburg zu erfassen, die zugrundeliegenden Prozesse und Wechselwirkungen zu analysieren und – nach Möglichkeit – begründete Abschätzungen möglicher zukünftiger, klimawandelbedingter Entwicklungen des Phänomens bereitzustellen. Auf dieser Grund-



*Aus dem Südwesten aufziehende Gewitterwolke über Augsburg*

## Streiflicht: Etablierung von Forschungsk Kooperationen zum Thema Environmental Health Sciences

lage sollen dann sowohl kurzfristige (Sensibilisierung der Bevölkerung, Etablierung eines Frühwarnsystems) wie langfristige (Formulierung von Handlungsempfehlungen für medizinische Versorgungseinrichtungen) Anpassungsmaßnahmen entwickelt werden.

Zur Erreichung dieser Ziele werden zum einen innovative Methoden zur Erfassung der meteorologischen und aeroallergenbezogenen Charakteristika von Gewittern eingesetzt (z.B. Messplattformen auf unbemannten Luftfahrtsystemen). Zum anderen erfolgt die Quantifizierung und Modellierung der Zusammenhänge zwischen relevanten Gewitterereignissen und den großskaligen Witterungsverhältnissen (Wetterlagen) mittels statistischer Methoden. Die resultierenden Modelle können anschließend für Zukunftsabschätzungen des gewitterbedingten Asthma-Risikos in Augsburg herangezogen werden.

Die beiden skizzierten Forschungsk Kooperationen verdeutlichen das Potenzial für den Forschungsschwerpunkt Environmental Health Sciences am Standort Augsburg und können als Startpunkt für zukünftige Forschungsinitiativen mit interdisziplinärer Beteiligung dienen.



# RESSOURCENSTRATEGIEN UND STOFFGESCHICHTEN

- 27 Lehrstuhl für Ressourcenstrategie
- 35 ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen
- 47 Wissensgeschichte der terra preta
- 53 Politische Ökologie im Anthropozän
- 58 Streiflicht: Kristalle der Macht

## PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Armin Reller  
armin.reller@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3000
- Prof. Dr. Richard Weihrich  
richard.weihrich@chemie.uni-regensburg.de  
Tel.: 0821 598 3132
- Renate Diessenbacher  
renate.diessenbacher@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3001
- Sebastian Haumann  
sebastian.haumann@mrm.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3134
- Thomas Kippes  
thomas.kippes@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3562
- Korbinian Koehler  
k-koehler@mytum.de  
Tel.: 0821 598 3134
- Dr. Simon Meißner  
simon.meissner@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3562
- PD Dr. Claudia Schmidt  
claudia.schmidt@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3575
- Dr. Andrea Thorenz  
andrea.thorenz@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3948
- Dr. Volker Zepf  
volker.zepf@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3526

## Worum geht es?

Die zunehmende Globalisierung und Technisierung der Gesellschaft, verbunden mit dem Wandel industrieller Fertigungsprozesse, einem weltumspannenden Güter-, Finanz- und Informationsaustausch sowie der Verbreitung westlicher Konsummuster führen zu einem steigenden Verbrauch an mineralischen, energetischen und biogenen Ressourcen jeglicher Art. Dieser substanzielle Wandel ist durch komplexe Wechselwirkungen innerhalb des Mensch-Umwelt-Systems gekennzeichnet und führt mittlerweile zu weitreichenden wirtschaftlichen, gesellschaftlichen, technischen und ökologischen Umbrüchen. Dies äußert sich beispielsweise durch den anthropogen induzierten Klimawandel infolge eines gesteigerten Verbrauchs fossiler Energieträger oder die zunehmenden Risiken der Marktverknappung zahlreicher für Hochtechnologiebranchen als strategisch zu bezeichnender Rohstoffe. Hierzu gehören etwa seltene Metalle wie Platin, Gallium, Hafnium, Indium oder Neodym, die mittlerweile, insbesondere wegen ihrer spezifischen Eigenschaften, für Energietechnologien, im IT- und im Automobilsektor oder aber auch in der Luft- und Raumfahrt sowie der Schulmedizin unentbehrlich geworden sind. Gleiches gilt für die weltweit zunehmende Inanspruchnahme von Böden und Wasser zur Bereitstellung ausreichender Nahrungsmittel oder biogener Energieträger. Aufgrund der hohen Dynamik und Komplexität dieser Veränderungen ist es unerlässlich, ganzheitliche Strategien für einen zukunftsweisenden Umgang mit Ressourcen zu entwickeln, die für politische, wirtschaftliche, wissenschaftliche und zivilgesellschaftliche Akteure gleichermaßen Anknüpfungspunkte zur gemeinsamen Gestaltung einer ressourceneffizienten und verantwortlichen Gesellschaft bieten.

## Lehrstuhl für Ressourcenstrategie

Unter der Leitung von Prof. Dr. Armin Reller werden am Lehrstuhl für Ressourcenstrategie Bestandsaufnahmen und Konzepte für einen zukunftsfähigen Umgang mit Ressourcen aller Art, insbesondere für Metalle und Werkstoffe etablierter und zukünftiger (Hoch-)Technologien, erarbeitet. Dabei werden unter anderem die, bei der Entwicklung und Bereitstellung von Technologien und Funktionswerkstoffen entstehenden ressourcenspezifischen und ökologischen Risiken (im Sinne von Rohstoffabhängigkeiten oder Dissipationsphänomenen) sowie Potentiale (in Form von Substitutionsalternativen) auf der Grundlage von interdisziplinären Kritikalitätskonzepten analysiert und bewertet. Dies geschieht sowohl für die technologische Anwendung selbst als auch entlang der Wertschöpfungs- und Produktionsketten spezifischer Technologiepfade (von der Primärförderung von Rohstoffen bis hin zur Nachnutzungsphase).

Ziel ist es, durch die Analyse der raum-zeitlichen Verflechtungen von Ressourcenströmen – unter Berücksichtigung von Ökologie, Ökonomie, Politik und Sozialem – Entscheidungs- und Handlungsgrundlagen für eine nachhaltige Gestaltung neuer Produkte, Fertigungsprozesse oder Technologien zu schaffen. Stoffe werden hier also nicht nur monothematisch, sondern ganzheitlich, also in Bezug auf ihre Funktionen, Eigenschaften, Prozesse und vor allem eingebettet in ihr Wirkumfeld, betrachtet.

Neben metallisch-mineralischen Rohstoffen stehen auch erneuerbare Ressourcen im Fokus der Betrachtungen. Dies betrifft beispielsweise den Umgang mit Wasser, Böden, Luft oder Agrarrohstoffen wie Holz oder Nahrungsmittel, deren Wirk- und Einflussphären auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Bezugsebenen multiperspektivisch betrachtet werden.

Ergänzend hierzu arbeitet am Lehrstuhl unter der Leitung von Prof. Dr. Richard Wehrich eine weitere Forschungsgruppe, die sich im Bereich „Nachhaltige Chemie der Materialien und der Ressourcen“ mithilfe des Einsatzes explorativer Computer-Modellierung der Synthese und Charakterisierung neuer, innovativer Materialien bei gleichzeitiger Reduzierung der Kritikalität widmet. Diese Herangehensweise bietet u.a. die Möglichkeit, Stoffverbindungen bereits vor der Anwendungsphase kritisch hinsichtlich potenzieller Implikationen präventiv zu prüfen und so einen Beitrag für eine nachhaltige Produktentwicklung zu leisten.

### Forschung

Die Forschungstätigkeiten des Lehrstuhls erstrecken sich über die Bereiche der Kritikalitätsforschung, des Ressourcenmanagements und der Steuerung von Ressourcenströmen und Produktionsketten, der nachhaltigen Chemie, der interdisziplinären Umweltforschung und des Umweltmanagements. Weiterhin werden Vermittlungskonzepte im Bereich der nachhaltigen Entwicklung und Ressourcennutzung (Bildung für Nachhaltige Entwicklung) erarbeitet. Hierbei spielt unter anderem das am WZU entwickelte Konzept der Stoffgeschichten eine wichtige Rolle, um die vielschichtigen Wechselwirkungen und Implikationen der Rohstoffnutzung zu erkennen. Dieser qualitative Ansatz wird dabei mit quantitativen Methoden zu einem multiinstrumentellen Forschungskonzept verknüpft, um die vielschichtige und komplexe Bandbreite an Kritikalitätskriterien unterschiedlicher Rohstoffe möglichst vollständig abbilden zu können.



# Lehrstuhl für Ressourcenstrategie

Der Fokus richtet sich dabei auf die Rohstoffgewinnung bzw. -extraktion durch die Land- und Forstwirtschaft sowie den Bergbau, die Weiterverarbeitung biotischer wie abiotischer Rohstoffe bis zum fertigen Produkt wie auch die anschließende Rückführung oder Verwertung von be-



Abb. 1: Netzwerkstruktur des Lehrstuhls für Ressourcenstrategie

reits genutzten Ressourcen über innovative Kreislaufwirtschaftsmodelle. Mittels der Analyse von Stoffstromketten und ihrer raum-zeitlichen Verflechtungen soll versucht werden, deren Stoffgeschichten je nach Anwendungskontext nachvollziehbar und transparent zu gestalten. Dabei werden nicht nur die wirtschaftliche und technische Planung entlang von Wertschöpfungsketten sowie die Einsatzbereiche von verschiedensten Rohstoffen und Funktionsmaterialien betrachtet, sondern auch die Risiken und Abhängigkeiten in Form von nicht „planbaren“ Rückkopplungen innerhalb des Mensch-Umwelt-Systems.

Dies betrifft beispielsweise den zunehmenden Verlust von seltenen Metallen und Funktionsmaterialien durch dissipative Prozesse im Bereich von High-Tech-Anwendungen. Da viele Metalle oftmals nur in äußerst geringen Mengen pro Geräteeinheit wie etwa eines Flachbildschirms oder Mikroprozessors zum Einsatz kommen, ist deren Recycling in vielen Fällen wirtschaftlich und technisch bislang kaum realisierbar. Vor diesem Hintergrund wird nicht nur die Knappheit vieler strategischer Metalle weiter zunehmen, sondern, sobald diese als Elektroschrott unsachgemäß „entsorgt“ werden, auch deren bisher weitgehend unbekannte Wirkungsspektren und Risiken im Schnittfeld zwischen Technosphäre und Ökosphäre. Angesichts dessen sind zukünftig große Anstrengungen hinsichtlich einer effizienteren Rückführung, aber auch umfassender Strategien der Effizienzsteigerung notwendig. Eine Möglichkeit stellt die Suche nach potentiellen Substituten sowie nach Konzepten einer suffizienten und konsistenten Produktentwicklung dar. Die Visualisierung von Stoffströmen mittels Stoffkarten hilft dabei, die Herkunft von Ressourcen und deren Weiterverarbeitung darzustellen, um damit sowohl eventuelle Abhängigkeiten aufzuzeigen als

auch ökonomisch, ökologisch und soziopolitisch wichtige Hinweise zur „Kritikalität“ eines Stoffes zu geben.

Auf Grundlage derartiger Bestandsaufnahmen werden Elemente einer nachhaltigen Ressourcenpolitik sowie geeignete Strategien für einen zukunftsfähigen und verantwortungsvollen Umgang mit Rohstoffen unterschiedlichster Art entwickelt. Dabei spielen neben den komplexen wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen zunehmend auch kulturelle Gegebenheiten sowie die Frage nach umwelt- und sozialgerechten Lebensstilen eine bedeutende Rolle. Die Forschungsarbeiten werden in interdisziplinäre (Weiter-)Bildungskonzepte für Multiplikatoren und Entscheidungsträger aus Wirtschaft, Politik und Bildung implementiert und dabei kontinuierlich durch Qualifizierungsarbeiten (Bachelor-, Master- und Doktorarbeiten) und Gutachten für Wirtschaft und Politik ergänzt. Hierbei nimmt der Lehrstuhl eine wichtige Schnittstelle zwischen vielen Fachdisziplinen wie der Physik, den Materialwissenschaften, der Geographie oder den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften ein und kooperiert mit zahlreichen inner- und außeruniversitären Einrichtungen.

Die Forschungsaktivitäten erfolgen hierbei in enger Zusammenarbeit mit zahlreichen Institutionen aus Forschung und Praxis (siehe Abb. 1), wie etwa mit dem WZU sowie den Instituten für Physik und Materials Resource Management (MRM) der Universität Augsburg. Ferner leitet Prof. Dr. Armin Reller in Alzenau die Projektgruppe für Wertstoff-Kreisläufe und Ressourcenstrategie (IWKS) der Fraunhofer-Gesellschaft, mit dem Ziel, ein eigenständiges Institut an der Schnittstelle zwischen Forschung und Anwendung zu etablieren. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit werden im Bereich der angewandten Forschung die Arbeitsschwerpunkte Ressourceneffizienz,

Recyclingtechnologien, Aufbereitungstechniken und Substitutionswerkstoffe unter besonderer Berücksichtigung der Ressourcenstrategie und -kritikalität behandelt. Die Forschungsaktivitäten finden dabei in einem engen Austausch zwischen Materialwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften und Ressourcenstrategie statt und zeichnen sich durch einen hohen Grad an Trans- und Interdisziplinarität aus.

Ähnliches gilt für die seit 2016 am Lehrstuhl und am MRM angesiedelte Arbeitsgruppe um Prof. Dr. Richard Weihrich im Forschungsbereich „Nachhaltige Chemie der Materialien und der Ressourcen“. Die Arbeitsschwerpunkte liegen hierbei in der Synthese und Charakterisierung neuer, innovativer Materialien, die sich neben einer verbesserten Leistungsfähigkeit auch durch eine höhere Ressourceneffizienz und damit geringeren Kritikalität auszeichnen. Die Stofftrennung (= Analyse) und Stoffherstellung (= Synthese) sind die ureigensten Themen der Chemie, der Lehre von den Stoffen und ihren Änderungen. Sie stellt somit eine Vielzahl von Kompetenzen bereit, um entlang von Wertschöpfungsketten – von der Gewinnung von Rohstoffen aus Mineralen über die stoffliche Prozessierung, Optimierung und Umsetzung in High-Tech-Produkten bis zur Entwicklung neuer Materialien für Zukunftstechnologien – Verbesserungspotenziale im Sinne nachhaltiger technischer Innovationen zu identifizieren und umzusetzen. Hierbei werden die Arbeitsfelder „Entwicklung Zukunfts- und ressourceneffizienter Materialien“, „Angewandte Synthesen und Umwandlungsprozesse“ und „Einsatz explorativer Computer-Modellierung“ miteinander verknüpft. Durch die Weiterentwicklung und Kombination verschiedener Synthese- und Analyseverfahren sowie die Vernetzung mit Wirtschafts- und Umweltwissenschaften

können nicht nur neuartige Materialien „designed“, sondern bereits im Vorfeld die Folgeimplikationen in der praktischen Anwendung eingeschätzt werden. Dies bietet wiederum die Grundlage für die Entwicklung intelligenter, ressourcen- und umweltschonender Werkstoffe – von der Grundlagenforschung bis hin zur technischen Anwendung.

Neben der Forschung zu Materialien mit interessanten magnetischen, supraleitenden oder thermoelektrischen Eigenschaften, die im Arbeitskreis von Prof. Dr. Richard Weihrich durchgeführt werden, seien beispielhaft die Untersuchungen zu Lithium(Li)-Akkumulatoren herausgestellt: In einer Industriekooperation wurden olivinartige Kathodenmaterialien hinsichtlich der Substitutionspotenziale von Eisen durch Cobalt und Nickel untersucht. Diese Verbindungen basieren auf dem Mineral Triphylin (Lithium-Eisenphosphat,  $\text{LiFePO}_4$ ), das bereits durch Geheimrat J.N. von Fuchs 1834 im Bayerischen Wald entdeckt wurde. Heute kommt es u. a. in Li-Ionen-Akkumulatoren für Elektrofahrräder zum Einsatz. Es liefert zwar eine geringere Spannung von 3,3 V und hat eine geringere Kapazität gegenüber dem gebräuchlicheren Lithium-Cobaltoxid ( $\text{LiCoO}_2$ , 3,7 V), ist aber deutlich stabiler und somit im Anwendungsalltag sicherer als das Cobaltoxid, da der Sauerstoff an Phosphor stärker gebunden ist. Durch die Substitution des Eisens durch Cobalt ( $\text{LiCoPO}_4$ ) kann in Olivinen die Spannung über 4 V gesteigert werden. Cobalt ist jedoch ein giftiges, teureres und vor allem ressourcenkritisches Element. Die weitere Substitution von Cobalt durch das weniger kritische Nickel führt wiederum zu einem Olivin ( $\text{LiNiPO}_4$ ), für das sogar eine Steigerung der Spannung auf über 5 V und damit eine erheblich höhere Kapazität für Hochvolt-Akkumulatoren errechnet wur-

de. Bis zu einem Einsatz der Nickelverbindung sind noch viele wissenschaftliche und technische Fragen zu lösen. So wurden u. a. verschiedene Synthesewege getestet, teils mit festen Stoffen, teils in Lösungen oder Gelen. Hierbei zeigte sich, dass bereits kleinste Verunreinigungen oder Baufehler der Materialien sowohl die Funktion als auch die Lebensdauer der Verbindung erheblich stören. Allerdings eröffnen die Ergebnisse dieser Untersuchungen erste Wege zur ressourcen- und energieeffizienten Optimierung der Synthese- und Herstellungsverfahren, die sich auf andere Materialien übertragen lassen. So könnten durch Weiterentwicklungen softer Synthesekonzepte ähnliche Materialien schon bei etwa 190°C anstatt bei 960°C hergestellt werden. Dieses Beispiel zeigt, wie Überlegungen zu technischen Parametern und Kritikalität zusammenspielen.

### Forschungs- und Projektaktivitäten

Die Aktivitäten des Lehrstuhls umfassen neben der Forschung und Lehre auch die Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft, um ressourcenstrategische Ansätze in der Theorie und Praxis zu etablieren. Im Jahr 2017 wurden u.a. folgende Projektarbeiten Aktivitäten durchgeführt, die zum Teil über Drittmittel finanziert wurden (exemplarische Auswahl):

- Mitwirkung in der Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie (IWKS), seit 2011
- Mitgliedschaft in der Deutschen Phosphorplattform (DPP), seit 2015

- Entwicklung einer „Ressourcenstrategie für die Rohstoffwende Bayern – unter besonderer Berücksichtigung von Sekundärrohstoffen“ (Projektverbund ForCYCLE – Rohstoffwende Bayern des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz), Projektlaufzeit 2014 - 2016, (s. auch Beitrag auf S. 35). Das Projekt wurde in 2017 erfolgreich abgeschlossen und leitet bereits in eine zweite Programmphase ForCYCLE II über.
- Durchführung einer „Potentialabschätzung ausgewählter Abfallströme für die Vorbereitung zur Wiederverwendung“ (Projektleitung: Resource Lab der Universität Augsburg, Dr. Andrea Thorenz; gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz), Projektlaufzeit Nov. 2015 bis Oktober 2017
- Mitwirkung am EU-Forschungsprojekt “Strengthening the European bio-economy industry by creating novel materials from agricultural and forestry waste“ (Projektleitung: Resource Lab der Universität Augsburg, Dr. Andrea Thorenz; gefördert durch das European Union’s Horizon 2020 Research Innovation Programme)
- Forschungsk Kooperation zwischen dem Resource Lab der Universität Augsburg und der Universität von Hawai’i, Honolulu, zum Thema nachhaltige Ressourcen- und Energiekonzepte, seit 2014
- Mitwirkung am Forschungsprojekt „Kristalline Nichtgleichgewichtsphasen“ (SPP1415) der Deutschen Forschungsgemeinschaft
- Ferner beteiligen sich zahlreiche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Lehrstuhls ehrenamtlich an den Aktivitäten des Arbeitskreises für Nachhaltigkeit der Universität Augsburg.

### Graduiertenkolleg „Ressourcenstrategische Konzepte für zukunftsfähige Energiesysteme“

Des Weiteren engagiert sich der Lehrstuhl für Ressourcenstrategie für die Ausbildung wissenschaftlicher Nachwuchskräfte, die an der Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis arbeiten. Diese Vernetzung spiegelt sich im Besonderen im Graduiertenkolleg „Ressourcenstrategische Konzepte für zukunftsfähige Energiesysteme“ wider, welches am Institut für Materials Resource Management angesiedelt ist und durch das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst über eine Laufzeit von mittlerweile 6 Jahren mit 3,65 Millionen Euro finanziert wurde und nun 2017 erfolgreich zum Abschluss kam. Seit 2012 wurden im Rahmen dieser interdisziplinär ausgerichteten Doktorandenschule 12 hochqualifizierte Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler aus unterschiedlichen Fachbereichen ausgebildet und gefördert, um Lösungsansätze für die Optimierung der Ressourcen- und Energieeffizienz für bestehende und neue Technologien zu entwickeln. Im Vordergrund stand dabei die Etablierung einer zukunftsweisenden Stoffkreislaufwirtschaft, die nicht nur der Primärnutzung von Ressourcen, sondern auch der wiederholten Nutzung und dem Recycling eine große Bedeutung zumisst.

Die Koordination und wissenschaftliche Ausgestaltung des Graduiertenkollegs erfolgte unter der Leitung von Prof. Dr. Armin Reller am Lehrstuhl für Ressourcenstrategie in enger Kooperation mit dem Lehrstuhl für Experimentalphysik II (Prof. Dr. Siegfried Horn), dem Lehrstuhl für Experimentalphysik V (Prof. Dr. Alois Loidl) und dem Lehrstuhl für Production & Supply Chain Management (Prof.

# Lehrstuhl für Ressourcenstrategie

Dr. Axel Tuma]. Seitens des Lehrstuhls für Ressourcenstrategie wurden im Rahmen des Kollegs folgende Dissertationsprojekte durchgeführt und erfolgreich umgesetzt:

- Ressourcenstrategische Betrachtung der Kritikalität von Phosphor (Dr.-Ing. O. Gantner; Fachbereich Geographie und Wirtschaftsingenieurwesen), 2016.
- Technological Persistency of Inorganic Solid-State-Lightning Systems. A Comprehensive Approach for Assessing Criticality Dimensions of Innovative Lightning Technologies (O. Klier, M.Sc.; Fachbereich Materialwissenschaften), 2017.
- Zukunftsfähiger Umgang mit Ressourcen am Beispiel von Funktionsmaterialien (A. Lubberger, M.A.; Fachbereich Umweltethik), 2017.

## Lehraktivitäten

Darüber hinaus beteiligt sich der Lehrstuhl für Ressourcenstrategie mit einem umfangreichen Angebot an Lehrveranstaltungen an zahlreichen Studiengängen der Universität Augsburg wie etwa dem Bachelor- und Masterstudiengang Wirtschaftsingenieurwesen (WING), dem Bachelor- und Masterstudiengang Geographie sowie dem Masterstudiengang Klima- und Umweltwissenschaften. Aktuell werden im Semesterturnus Vorlesungen, Seminare und Exkursionen mit inhaltlichen Schwerpunkten zu Ressourceneffizienz und -strategien im Zusammenhang mit (Funktions-)Materialien, Produktionsketten und Zukunftstechnologien, insbesondere von Energietechnologien, sowie zu den Themengebieten „Humanökologie“, „Ressourcengeographie“, „Stoffgeschichten“ und Kritikalitätsbewertungen“ angeboten. Sämtliche Lehrveranstaltungen

themenisieren theoretische und praktische Fragestellungen mit ressourcenstrategischem Hintergrund und beleuchten diese sowohl aus fachlicher wie auch inter- und transdisziplinärer Perspektive. Weitere Informationen zu disziplinübergreifenden Lehrveranstaltungen im Ressourcenkontext, an denen sich der Lehrstuhl für Ressourcenstrategie beteiligt, finden sich im Beitrag auf S. 105.

## Studien- und Qualifizierungsarbeiten

Die Ausbildungs- und Forschungstätigkeiten des Lehrstuhls werden durch Studien- und Qualifizierungsarbeiten zu einem nachhaltigen und zukunftsfähigen Umgang mit Ressourcen unterstützt. Im Folgenden soll eine Auswahl an Qualifizierungsarbeiten, die in 2017 angefertigt beziehungsweise abgeschlossen wurden, die Bandbreite an Forschungsthemen veranschaulichen:

- Potentiale und Herausforderungen der Abfallvermeidung durch Kommunen als Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung - Eine qualitative Analyse am Beispiel von Lebensmittelverpackungen (Masterarbeit von M. Ederer)
- Chancen und Herausforderungen bei der Reduktion von Kunststoffabfällen im Lebensmittelbereich entlang des Lebenszyklus (Masterarbeit von L. Köstler)
- Biopolymere vs. konventionelle Polymere: Vergleichende Analyse der Umweltauswirkungen anhand eines PLA- und eines PS-Bechers entlang des Lebenszyklus (Bachelorarbeit von M. Zientner)
- Rohstoffspezifische Kritikalitätsanalyse der Elektromobilität in Deutschland. Szenarienentwicklung zum

Recyclingpotential von Lithium-Ionen-Traktionsbatterien im Jahr 2030 (Masterarbeit von T. Serkan)

- Das Recyclingpotential von Windkraftanlagen in Deutschland (Bachelorarbeit von J. Wiedenmann)
- Ist 65g Papier in Deutschland marktfähig? Eine qualitative Untersuchung zur Ermittlung der Vor- und Nachteile der Papierqualität und Papierstärke unter Berücksichtigung weltweiter Wertschöpfungsketten (Bachelorarbeit von J. Gunzelmann)
- Dissipation von Humanarzneimittelwirkstoffen in aquatischen Systemen (Bachelorarbeit von K. Mittermeier)
- Ökologische Bandbreiten infolge des Einsatzes nuklearmedizinischer Wirkstoffe (Masterarbeit von N. Tezel)
- Auswirkungen der Energietransformation Deutschlands auf den Wasser-Energie-Nexus (Bachelorarbeit von S. Walcher)

Development, *Journal of Sustainable Materials and Technology*, 12, S. 1 - 8.

- Meißner, S. (2017): Globale Rohstoffumbrüche erfordern Umdenken, *Umweltdialog. Wirtschaft. Verantwortung. Nachhaltigkeit*, 7, S. 28 - 33.
- Schmidt, C. (2017): Bildung zur Nachhaltigkeit – Stoffgeschichten. Ein Konzept zur Vermittlung komplexer interdisziplinärer Themen, *Schulverwaltung Baden-Württemberg*, 26. Jg., S. 177 - 180.
- Schmidt, C. (2017): Bildung zur Nachhaltigkeit – Stoffgeschichten. Ein Konzept zur Vermittlung komplexer interdisziplinärer Themen, *Schulverwaltung Bayern*, 40. Jg., S. 123 - 126.
- Schmidt, C. (2017): Titandioxid und seine Reise, *Praxis Geographie* 1/2017, S. 22 - 26.
- Schmidt, C. (2017): Ressource Bildung - ein didaktisches Konzept für Entscheidungen unter Nachhaltigkeit, *Pädagogische Rundschau*, 71, (2), S. 213 - 214.

## Publikationen

- Cimprich, A., Young, S. B., Helbig, C., Gemechu, E. D., Thorenz, A., Tuma, A., Sonnemann, G. (2017): Extension of geopolitical supply risk methodology: Characterization model applied to conventional and electric vehicles, *Journal of Cleaner Production*, Volume 162, S. 754 - 763.
- Helbig, C., Bradshaw, A. M., Wietschel, L., Thorenz, A., Tuma, A. (2017): Supply risks associated with lithium-ion battery materials, *Journal of Cleaner Production*, accepted.
- Helbig, C., Kolotzek, C., Thorenz, A., Reller, A., Tuma, A., Schafnitzel, M., Krohns, S. (2017): Benefits of Resource Strategy for Sustainable Materials Research and



# ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

## PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Armin Reller  
armin.reller@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3000
- Dr. Julia Fendt  
julia.fendt@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3558
- Christian Böckenholt  
christian.boeckenholt@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3563

## PROJEKTPARTNER

- Prof. Dr. Soraya Heuss-Aßbichler, LMU München
- Prof. Dr. Siegfried Horn, Universität Augsburg in Kooperation mit Prof. Dr. Klaus Drechsler, Fraunhofer Projektgruppe FIL, Augsburg
- Prof. Dr. Burkhard König, Universität Regensburg
- Prof. Dr. Werner Kunz, Universität Regensburg in Kooperation mit Prof. Dr. Cordt Zollfrank, TU München und Wissenschaftszentrum Straubing für Nachwachsende Rohstoffe
- Dr. Martin Schlummer, Fraunhofer IVV, Freising
- Prof. Dr. Ulrich Teipel, TH Nürnberg in Kooperation mit dem Fraunhofer ICT, Pfinztal
- Prof. Dr. Monika Willert-Porada, Universität Bayreuth
- Prof. Dr. Rainer Buchholz, FAU Erlangen-Nürnberg in Kooperation mit Prof. Dr. Thomas Brück, TU München

## FÖRDERUNG

- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV)

## PROJEKTLAUFZEIT

- Januar 2014 bis August 2017

## Der Projektverbund ForCYCLE als wichtiger Eckpfeiler der bayerischen Rohstoffwende

Unser Lebensstil führte in den letzten Jahrzehnten zu einem wachsenden Ressourcenkonsum. Dem Planeten werden in zu kurzer Zeit zu viele primäre Ressourcen entnommen. Gleichzeitig werden beim Abbau von Bodenschätzen und der Entsorgung von Gütern zu viele Schäden in der Biosphäre angerichtet. Aus diesem Grund ist es dringend erforderlich, neue Wege zu erforschen und zu begehen, die von einer Schadstoffe und Müll produzierenden „Wegwerfgesellschaft“ hin zu einer ressourcen- und umweltschonenden Kreislauf- und Recyclingwirtschaft führen.

Diesen Weg hat der Freistaat Bayern durch die Initiierung der bayerischen Rohstoffwende bereitet. Der Freistaat Bayern steht unter anderem für die Verbundenheit seiner Bevölkerung mit der Natur sowie für seine wirtschaftliche Stärke. Beides ist eng miteinander verknüpft: Die Bewahrung der Natur basiert auf ökologisch rücksichtsvollem Wirtschaften. Eine starke Wirtschaft wiederum ist angewiesen auf die Verfügbarkeit wirtschaftsrelevanter Ressourcen. Hinzu kommt, dass Bayern zwar über ein

## ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

reichhaltiges Angebot an Biomasse und mineralischen Rohstoffen verfügt, wirtschaftsrelevante natürliche Ressourcen wie fossile Energieträger oder Erze und Metalle aber nahezu vollständig importiert werden müssen. Beispielsweise sind Gewerbebezweige mit einem hohen Materialverbrauch, wie etwa das produzierende Gewerbe, dann von steigenden Kosten betroffen, wenn Rohstoffe auf den Weltmärkten und daraus hergestellte Materialien sich verteuern (Weber & Oberender 2014). Effizienter Materialeinsatz schont demnach Ressourcen und spart Kosten.

In kreativem Unternehmergeist und technischer Innovationsfreude liegen Bayerns Stärken. Die Erweiterung dieser Stärken um eine Ressourcenkompetenz reduziert Importabhängigkeiten, schont die Umwelt und erhält den Wohlstand. Der Wohlstand und die florierende Wirtschaft Bayerns basieren auf der historisch gewachsenen Verbindung von materiellen Ressourcen, wie Metallen und mineralische Ressourcen, mit den immateriellen Ressourcen „Erfahrungswissen“ und „Fachkompetenz“. Es gilt, diese Position zu wahren und auf der Basis von strategischen Rahmenbedingungen in eine wirtschaftlich erfolgreiche, ökologisch verantwortbare und innovative Gesamtentwicklung von morgen zu überführen.

Mit der vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUUV) initiierten Rohstoffwende Bayern soll die bayerische Wirtschaft von einer Primär- zu einer Sekundärrohstoffwirtschaft transformiert werden. In den vier Handlungsfeldern i) Wirtschaft, ii) Forschung und Entwicklung, iii) Zivilgesellschaft und iv) Politik (Abb. 3) sollen hierfür die notwendigen Weichenstellungen vollzogen werden. Als wichtiger Meilenstein wurde im Zeitraum von 2014 bis 2016 der Forschungsver-

bund ForCYCLE mit einer Summe von knapp 3 Mio. Euro finanziert.

### ForCYCLE – der Projektverbund unter der Lupe

Im Forschungsverbund ForCYCLE wurden in neun Einzelprojekten an 11 verschiedenen bayerischen Forschungseinrichtungen unter der Leitung von Prof. Dr. Armin Reller **innovative Recyclingverfahren und -technologien** entwickelt. Die Projekte wurden nach Stoffklassen in die Schwerpunktthemen (sog. **Cluster**) i) Metalle, ii) Composite, iii) Baustoffe sowie iv) biogene Polymere und Wertstoffe unterteilt (s. Abb. 1).

Darüber hinaus fand ein übergreifendes Projekt an der Universität Augsburg zur Erweiterung der bayerischen Ressourcenstrategie statt. In den Einzelprojekten wurden von Projektnehmern aus der Wissenschaft in Zusammenarbeit mit der Industrie innovative Recyclingprozesse entwickelt und optimiert. Ziel war es Stoffkreisläufe weitgehend zu schließen und die Feinstverteilung von Stoffen in die Umwelt zu reduzieren. Besonders hervorzuheben ist das Zusammenwirken von Forschung, Industrie und Politik im Verbund, und die dadurch entstandenen vielfältigen Synergieeffekte für eine Erweiterung von Ressourcenkompetenzen.

Das Cluster **Metalle** bestand aus drei Forschungsprojekten, deren entwickelte Technologien dazu beitragen, die Dissipation von Funktionsmaterialien, also Materialien mit besonderen funktionellen Eigenschaften (z.B. Titanoxid in seiner Funktion als Weißpigment in Wandfarben), die vollständig importiert werden müssen und deren ein-



## ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

gesetzte Vielfalt in den letzten Jahrzehnten stark zunahm (Zepf et al. 2014), zu vermeiden. Im Projekt *Auf-Reinigung von Gebrauchs- und Spezialgläsern zur Dissipationslimitierung und Rückgewinnung von Wertmetallen* von Prof. Dr. Willert-Porada an der Universität Bayreuth wurden bspw. Verfahren untersucht, mit denen Fremdmetalle aus Altglas entfernt werden können. Dadurch ist das von Metallen gereinigte Glas für die Industrie wiedernutzbar und die Dissipation wertvoller Funktionsmetalle wie Silber wird vermieden. Im Projekt *Geobiotechnologie: Innovative Verfahren zur Gewinnung Seltener Erden und anderer Wertmetalle aus hochverdünnten Lösungen durch Mikroalgen-basierte Bioadsorption* (Projekt wurde erst später in den Verbund aufgenommen und läuft noch bis 2018) werden an der FAU Nürnberg-Erlangen und an der TU München unter der Leitung von Prof. Dr. Buchholz und Prof. Dr. Brück Seltenerdmetalle, aus Grubenwässern mittels Algen und Moosen adsorbiert. Nach der anschließenden Verbrennung der Biomasse können die metallischen Seltenerdkomponenten zurückgewonnen werden. Aufgrund der vielfältigen Anwendungen im Technologiebereich sind die Seltenerdelemente, insbesondere im Zeitalter der Digitalisierung und der Energiewende, wirtschaftlich hoch relevant (vgl. Held & Reller 2016) und u.a. auch deshalb geeignete Recyclingverfahren von besonderem Interesse. Die Rückgewinnung von Metallen aus Industrieabwässern wurde auch im Projekt *Entwicklung einer Gesamtlösung zur effektiven Rückgewinnung von Buntmetallen aus Industrieabwässern* unter der Leitung von Prof. Dr. Heuss-Aßbichler an der LMU München vorangetrieben. Die Forschungsgruppe entwickelte ein innovatives Konzept zur Behandlung von Abwässern, bei der die Rückgewinnungsquoten für u.a. Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Silber

(Ag) oder Gold (Au) bei über 99,99 % liegen.

Im Cluster **Komposite** wurden in drei Forschungsprojekten innovative Verfahren erforscht, um Kunststoffverbünde zu trennen und die einzelnen Stoffe wieder nutzbar zu machen. Composite bzw. Verbundwerkstoffe bestehen aus zwei oder mehr miteinander verbundenen Materialien, die im Verbund neue Eigenschaften aufweisen: carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK) bspw. sind wesentlich beständiger bei leichterem Gewicht als herkömmliche Materialien und werden in Luft- und Raumfahrt, Elektromobilität oder bei Windkraftanlagen eingesetzt. Im Projekt *Recycling von Kompositbauteilen aus Kunststoffen als Matrixmaterial* an der TH Nürnberg und am Fraunhofer ICT wurde unter Leitung von Prof. Dr. Teipel ein energetisches Verfahren zur Zerlegung von Windkraftanlagen durch Sprengung entwickelt. Dieses Verfahren ermöglicht eine Zerlegung am Standort und erspart dadurch aufwendige und kostenintensive Schwertransporte für die Verwerter.

Für den begehrten Kunststoff CFK existiert bislang noch kein Recyclingverfahren, das die Länge der Carbonfasern erhält. Dadurch verliert das recycelte Material seine charakteristische Funktion der Zugfähigkeit und bleibt qualitativ neu hergestellten CFKs weit unterlegen (Downcycling). Recyclingverfahren, die in der Lage sind, die ursprünglichen Eigenschaften von CFKs zu erhalten, wurden im Projekt *Ressourceneffiziente Faser-Matrix-Separation für das Recycling von Carbonfaserstrukturen* an der Universität Augsburg von Prof. Dr. Horns Projektgruppe und am Fraunhofer IGCV von Prof. Dr. Drechsler Verfahren getestet.

Ein weiteres Projekt beschäftigte sich mit dem *Recycling von Metall-Kunststoffverbunden und Hybridwerkstoffen*.

# ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

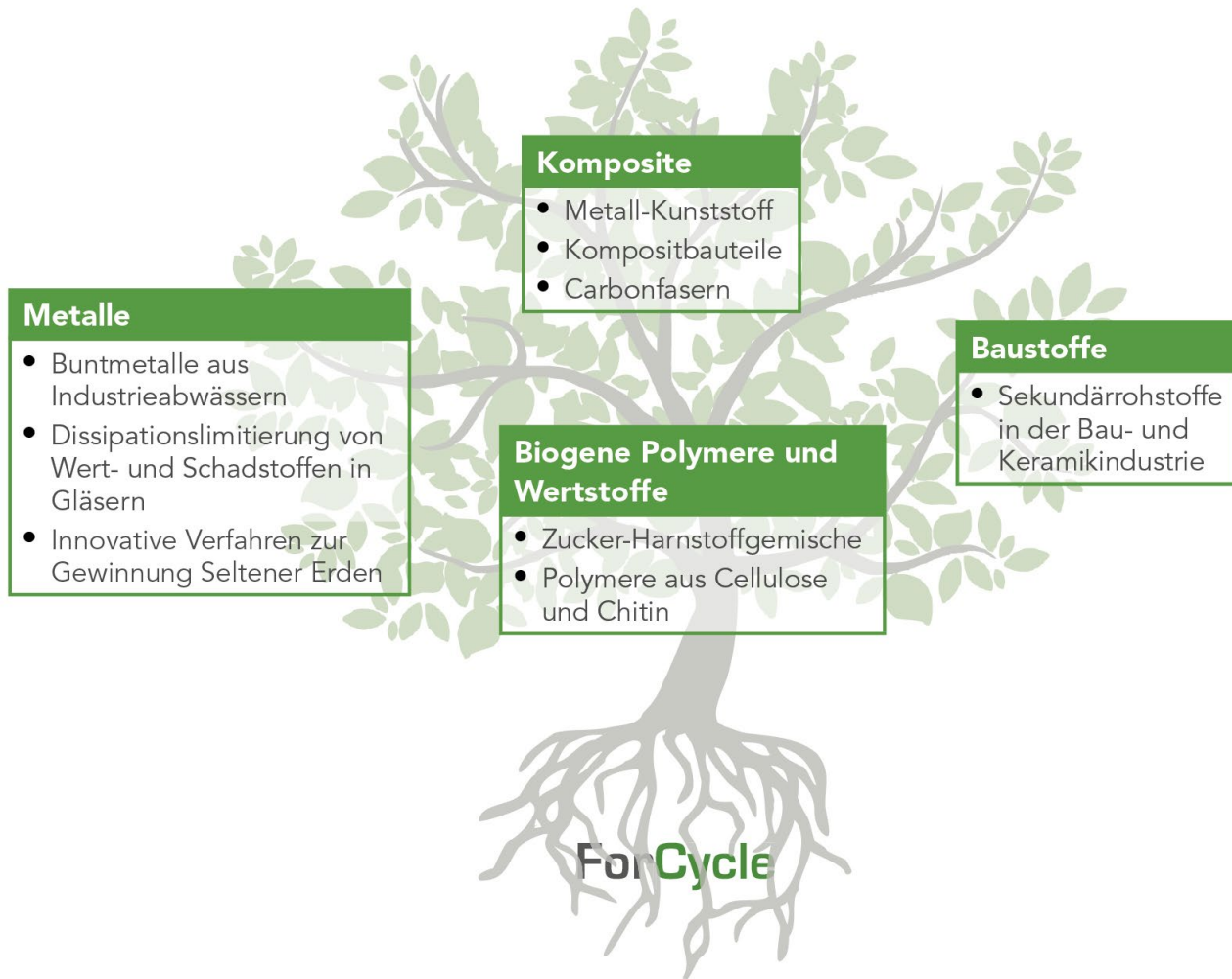


Abb. 1: Clusterbaum des Projektverbunds ForCYCLE. Quelle: Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Wissenschaftszentrum Umwelt

## ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

Dr. Schlummer und seine Arbeitsgruppe am Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV entwickelten ein schonendes Verfahren, mit dem drei Kategorien von Metall-Kunststoffverbunden so aufgetrennt werden, dass hochwertige Metall- und Kunststoffzyklate entstehen.

Im Cluster **Biogene Polymere und Wertstoffe** wurden in zwei Forschungsprojekten Verfahren und Lösemittel entwickelt, die wesentlich umweltfreundlicher als die etablierten Methoden wie z.B. der Einsatz ionischer Flüssigkeiten sind. Im Projekt *Niedrig schmelzende Zucker-Harnstoff Gemische zur Extraktion von Metallen und anderen Wertstoffen* an der Universität Regensburg wurde unter der Leitung von Prof. Dr. König ein energiearmes und auf natürlichen Stoffen basierendes Schmelzverfahren u.a. zur Extraktion von Metallen entwickelt. Prof. Dr. Zollfrank von der TU München und Prof. Dr. Kunz von der Universität Regensburg entwickelten im Projekt *Neuartige biogene Hybridpolymere aus Cellulose und Chitin* umweltfreundliche Lösemittel, mit denen Naturstoffe wie Chitin und Lignin gelöst und als Wertstoffe bspw. in der Textilindustrie eingesetzt werden können.

Im Cluster **Baustoffe** wurde im Projekt *Produktgestaltung mit Sekundärrohstoffen in der Baustoff- und Keramikindustrie* von Prof. Dr. Teipel an der TH Nürnberg ein mechanisches Verfahren entwickelt, mit dem aus dem Hochbau stammenden Mauer- und Ziegelbruch ein Granulat gewonnen werden kann, das als Ausgangsmaterial von Sekundärrohstoffen wieder im Hochbau eingesetzt werden kann. Bislang war für die im Hochbau eingesetzten Materialien in der Regel nur ein Downcycling möglich. Waren die Verfahren auch innerhalb der Cluster sehr unterschiedlich, so ergaben sich dennoch zahlreiche Ko-

operationen zwischen den Projektnehmern, bei denen es zum Austausch von Laborausstattung, Analysematerial und Kontakten kam. Durch die regelmäßigen Treffen innerhalb des Verbundes erhielten alle Projekte einen Blick über den Tellerrand ihrer eigenen Disziplin hinaus. Dadurch entstanden neue Forschungsideen. Der wissenschaftliche Austausch stellte somit einen wesentlichen Gewinn zur Verbesserung der Ressourcenkompetenz dar. Insbesondere für die Ausbildung der Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler, für die zusätzlich Doktorandenworkshops angeboten wurden, führten die Synergien und die thematische Vielfalt des Verbundes zu einem Mehrwert.

### Industriekooperationen

Zentraler Baustein für die zielgerichtete Projektentwicklung war die Zusammenarbeit der Einzelprojekte mit **Industriepartnern**. Am Ende der Projektlaufzeit des Projektverbundes zählten die Projekte im Dezember 2016 gemeinsam 41 Kooperationen. Gegenstand dieser Zusammenarbeiten war der Austausch von Analysematerialien, der gegenseitige Wissenstransfer sowie das Upscaling der entwickelten Verfahren, d.h. die Prüfung auf Anwendungstauglichkeit in größerem Maßstab. In einer Umfrage unter den Projektnehmern wurden diese Kooperationen als Schlüsselfaktor für den Projekterfolg ausgewiesen. So verwundert es nicht, dass die meisten der Kooperationen nach Beendigung des Projektverbundes fortgeführt und teilweise gar ausgebaut werden. Auch Kooperationen mit neuen Industriepartnern sind bei einigen Projekten geplant.

# ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

## Abschlusssymposium des Verbundes

Am 16. Februar 2017 fand das Abschlusssymposium von ForCYCLE an der Universität Augsburg statt, an dem mehr als 170 Gäste aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft teilnahmen. Die Bayerische Staatsministerin für Umwelt und Verbraucherschutz Ulrike Scharf eröffnete die Veranstaltung und machte dabei deutlich, dass eine bayerische Rohstoffwende hin zu einer Sekundärrohstoffwirtschaft notwendig sei, um Wohlstand zu erhalten. ForCYCLE kann diesbezüglich wichtige Erfolge vorweisen, da die Projekte zur Steigerung der Ressourceneffizienz beitragen und wissenschaftliche Forschung und Anwendung verknüpfen. Aus diesem Grund wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz die Gründung eines neuen Projektverbundes vereinbart, mit dem Ziel Ressourceneffizienz in der bayerischen Wirtschaft (insbesondere in KMU und Handwerk) zu steigern. Als Gutachterin des Projektverbundes ForCYCLE konstatierte Frau Dr. Rechenberg vom Umweltbundesamt, dass die Projektnehmer sehr motiviert waren und ein Gutteil der Projekte zum Ende der Projektlaufzeit bereits verhältnismäßig weit fortgeschritten war. Beispiele hierfür sind das Projekt zur Rückgewinnung von Buntmetallen aus Industrieabwässern von Prof. Dr. Heuss-Aßbichler von der LMU München oder von Dr. Schlummer vom Fraunhofer IVV zum Recycling von Metall-Kunststoffverbunden und Hybridwerkstoffen. Für die meisten Projekte sind allerdings noch weitere Grundlagenforschung und Zusammenarbeit mit Industriepartnern nötig, damit die Verfahren zur Marktreife gelangen. Die zuvor durch Frau Staatsministerin Scharf angekündigte Fortsetzung der finanziellen Unterstützung des StMUV im Bereich Ressourceneffizienz begrüßte Frau Dr. Rechenberg, da Innovationen erst

später bewertet werden können. In den anschließenden Fachdiskussionen mit Projektnehmern und Industriepartnern wurde die Relevanz der Forschung für die Unternehmen hervorgehoben und der Verbund als „Brücke“ zwischen den Akteursgruppen gewürdigt. Die enge Zusammenarbeit zwischen Forschung und Wirtschaft sei der zentrale Erfolgsfaktor von ForCYCLE.

## Ressourcenstrategie

Deutlich wurde im Rahmen des Abschlusssymposiums aber auch, dass die gegenwärtigen Maßnahmen nicht ausreichen, um das Wirtschaftswachstum signifikant vom Ressourcenkonsum zu entkoppeln. In Deutschland stieg zwar die Gesamtrohstoffproduktivität, d.h. das Verhältnis der gesamten Wertschöpfung (Bruttoinlandsprodukt und Importe) zum Rohstoffeinsatz (RMI), der dafür notwendig ist (Günther et al. 2015) von 2000 bis 2011 um 22%. Allerdings stagnierte der Rohstoffinput (RMI) im gleichen Zeitraum, wie auch in Abb. 2 dargestellt. Der abgebildete Indikator für den Rohstoffinput, der RMI (Raw Material Input), berücksichtigt neben dem direkten inländischen Materialeinsatz „auch Importgüter mit den Massen an Rohstoffen, die im Ausland zu deren Herstellung erforderlich waren“ (UBA 2016). Die in blau dargestellte steigende Gesamtrohstoffproduktivität zu Beginn des letzten Jahrzehnts erklärt sich durch das gegenüber dem Rohstoffeinsatz überproportional angestiegene Bruttoinlandsprodukt. Durch Rebound-Effekte, wie kürzere Produktlebenszeiten, recyclingunfreundliches Produktdesign oder steigender Konsum bleibt gleichzeitig ein hoher Materialverbrauch konstant. Durch den Trend der Miniaturisierung kann Material zwar eingespart werden, allerdings nimmt

## ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

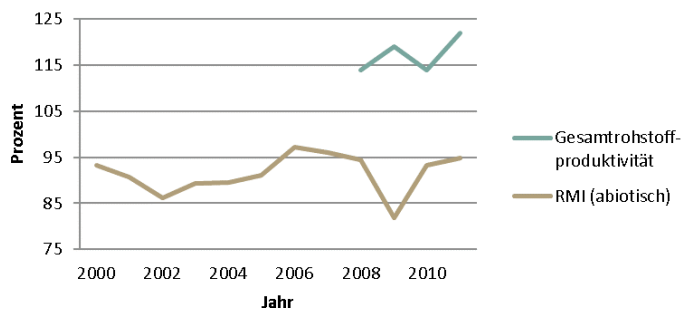


Abb. 2: Rohstoffentnahme Deutschlands in Prozent in den Jahren 2000 - 2011. Quelle: Eigene Darstellung nach Günther et al. 2015 und UBA 2016

dadurch tendenziell die Materialdiversität zu, da die gleichen Funktionen mit leistungsstärkeren Ressourcen erbracht werden müssen. Funktionsmetalle wie Indium oder Neodym werden außerdem häufig in Kleinstmengen verarbeitet, sodass eine Wiederverwertung aus wirtschaftlichen Gründen derzeit nicht stattfindet. Dadurch dissipieren diese Stoffe, werden also den Stoffkreisläufen entzogen und in der Umwelt verteilt.

Effizienzmaßnahmen alleine, wie sie z.B. im Miniaturisierungstrend angelegt sind, reichen also nicht aus. Es gilt, gesamtgesellschaftlich Ressourcenkompetenzen aufzubauen, um Materialverbrauch zu reduzieren, Wertstoffe im Wertstoffkreislauf zu erhalten und den Anteil an Sekundärrohstoffen in der Produktion zu erhöhen.

Langfristig sollten umweltschädliche Stoffe sowie solche mit großem ökologischen Rucksack (gesamte Ressourcenmenge inkl. Energie und Nutzung der Umweltmedien

Wasser, Boden etc. zur Herstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung) aus den Kreisläufen ausgeschleust und in Senken (Reservoirs, in dem mittel- bis langfristig dissipierte Stoffe aufgenommen und gebunden werden) geleitet werden. Sie sollten durch Stoffe substituiert werden, die in natürlichen Kreisläufen vorkommen und durch jene, die sich bereits in anthropogenen Lagerstätten, also der Gesamtheit der vom Menschen zu Infrastruktur, Gebäuden sowie Gütern und Produkten verarbeiteten Stoffe, befinden. Dabei sollte möglichst auf nicht-regenerative Primärrohstoffe verzichtet werden. Zudem ist die Minimierung der Dissipation von Funktionsmaterialien – insbesondere von Metallen – ein entscheidender Faktor, um die natürlichen Senken der Umwelt zu schonen und Materialverluste zu vermeiden.

Insgesamt muss für einen zukunftsweisenden und reflektierenden Umgang mit Ressourcen das Bewusstsein über die Zusammenhänge von Ressourcennutzung, -verbrauch und Umweltwirkungen gestärkt werden. Dafür ist ein strategisches Vorgehen notwendig. Bayern verfügt bereits über eine Ressourcenstrategie. Im Rahmen von ForCYCLE wurde eine Erweiterung der bereits bestehenden Handlungsfelder (s. Abb. 3) vorgeschlagen. So wurden die sechs Kernelemente Rohstoffrückgewinnung, Steigerung der Materialeffizienz, Ressourcenkompetenz fördern, Transparenz schaffen, Substitution realisieren und Dissipation verringern, identifiziert. Diese Kernelemente konkretisieren inhaltlich die Handlungsfelder der Bayerischen Ressourcenstrategie, erweitern die Bausteine hinsichtlich der Förderung eines **ressourcenspezifischen und bedarfsorientierten Recyclings** und tragen durch Erhöhung der Verfügbarkeit von Sekundärrohstoffen im Wertstoffkreislauf zur Umwelt- und Ressourcenschonung bei.

## ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

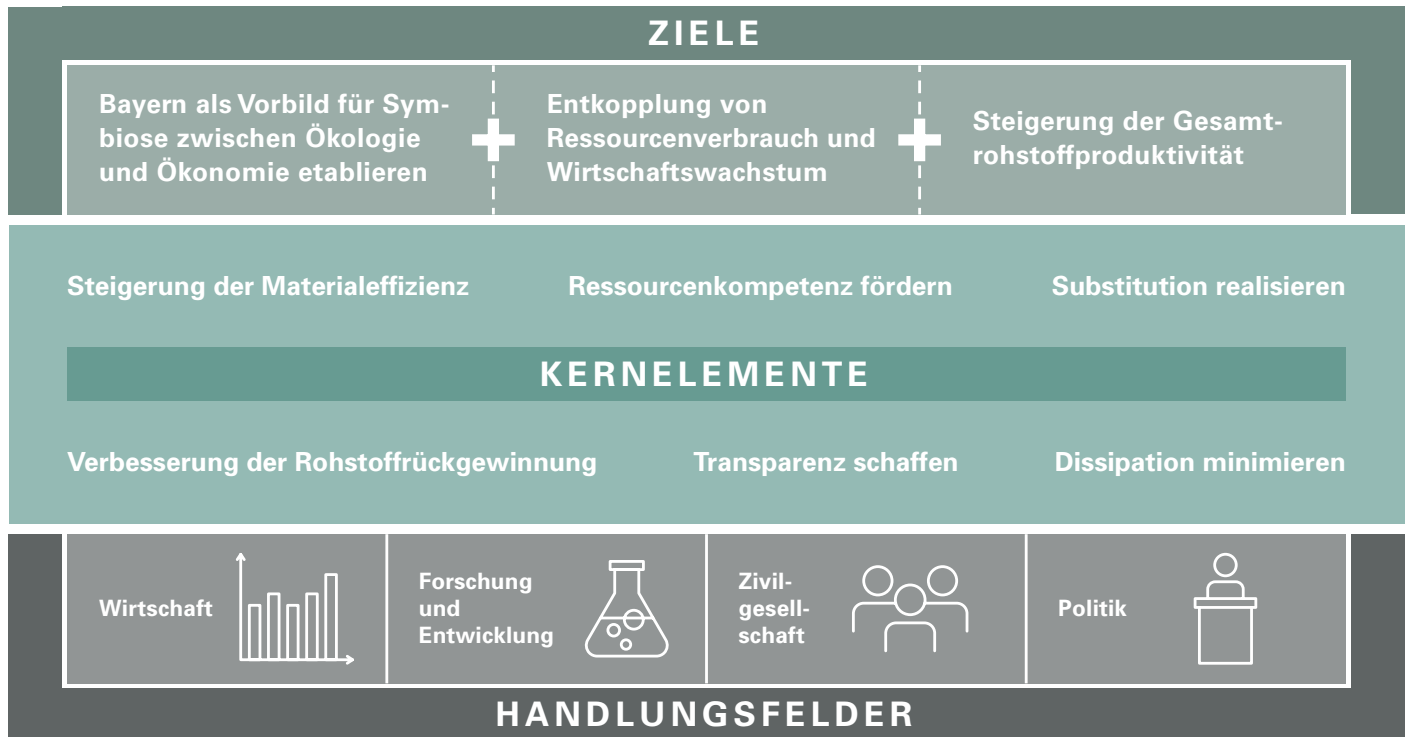


Abb. 3: Ziele, Kernelemente und Handlungsfelder der bayerischen Ressourcenstrategie. Quelle: StMUV

Damit in Bayern die Importabhängigkeit von wirtschaftsrelevanten Ressourcen reduziert, der Wohlstand langfristig gesichert und die Umwelt geschont werden kann, ist eine Rohstoffwende notwendig. Diese sollte auf eine geringere Ressourcenentnahme und einen geringeren Ressourcenverbrauch abzielen, um nicht nur kurz-, sondern auch mittel- und langfristig die Umwelt zu schonen und

zu erhalten. Von zentraler Bedeutung ist der Erhalt von Wertstoffen im Wertstoffkreislauf und damit der signifikanten Erhöhung des Anteils von Sekundärrohstoffen in der Produktion. Die Produktion von Sekundärrohstoffen sollte allerdings „sinnvoll“ erfolgen. In der Regel ist der Energieaufwand aufgrund der im Vergleich zum Primärbergbau höheren Stoffkonzentration beim Recycling



## ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

wesentlich geringer, jedoch gibt es Ausnahmen. Bspw. ist Indium in Displays so gering konzentriert, dass das Recycling energieintensiver und damit umweltschädlicher ist, als die Primärproduktion (Reller et al. 2017). Durch eine intelligente Kombination von Re-Phasen (Re-Use, Remanufacturing, Recycling) werden Wertstoffe zunächst in anderer Form kaskadenartig weitergenutzt, bevor sie recycelt werden (s. Abb. 4). Hilfreich ist es daher, diese Aspekte beim Produktdesign zu berücksichtigen, sodass eine Wiedernutzbarmachung von Modulen und ein Recycling durch geringere Materialdiversität erleichtert werden. In Bayern wird diese Problematik bereits mit der Integrierten Produktpolitik (IPP) aufgegriffen. Solche Ansätze gilt es auszuweiten, sodass Separations- und Füge-technik künftig nicht isoliert voneinander betrachtet werden, um aufwendige Recyclingverfahren und stoffliche Verluste so weit wie möglich zu vermeiden.

Um Versorgungsschwierigkeiten mit Rohstoffen entgegenzuwirken, sollen Schwachstellen und Lücken in den Wertschöpfungsketten identifiziert werden. Hierfür ist eine Steigerung der Produkttransparenz notwendig, welche die Wiederverwendung von Stoffen durch die Bündelung von Stoffströmen erleichtert. Durch die Offenlegung der Wertschöpfungsketten werden Marktkonzentrationen sichtbar und damit mögliche Versorgungsrisiken erkennbar.

Kurzfristig wurden bereits Lücken identifiziert und Handlungsempfehlungen wie den Einsatz des „Konzepts der Stoffgeschichten“ (s. u.a. Huppenbauer & Reller 1996, Marschall et al. 2013, Bösch et al. 2004) sowohl im Bildungsbereich als auch als Entscheidungsgrundlage für Politik und Wirtschaft im Bericht zur Ressourcenstrategie für Bayern vorgeschlagen (Reller et al. 2017).

Mittelfristig gilt es, mit einem geeigneten politischen „Werkzeugkasten“ Trends zu steuern, statt sie nur zu bearbeiten. „Um die Nutzungskontexte dauerhaft steuern zu können ist eine stetige Ressourcenforschung notwendig“ (Reller et al. 2016). Dazu ist die Einbeziehung aller beteiligten Akteure zentral, da Ressourcenschutz als Querschnittsthema eine gesamtgesellschaftliche Herausforderung bedeutet und politische Kooperationsbereitschaft voraussetzt.

### Konzept der Stoffgeschichten: Ästhetisch-künstlerischer Weg als ein möglicher Zugang zum Thema

Die Wege eines Stoffes oder einer Ressource sind verzweigt und verwoben (s. Abb. 4). So beginnt der Weg eines Stoffes wie Titanerz, Dysprosium oder Eisenerz in der Erde, beim Abbau im Ursprungsland und nicht erst im Produkt des Verbrauchers. Neben naturwissenschaftlich-technischen Fragen des Abbaus, der Verwertung und Weiterverarbeitung und Funktionalisierung der Stoffe, berührt der Stoff ebenso die gesellschaftlich relevanten ökonomischen, politischen, ökologischen, kulturellen und ethischen Fragen. Dabei geht es um Fragen der Sozialstandards und Arbeitsbedingungen in den Herkunftsländern der Stoffe und deren komplexe Produktionsprozesse und Lieferketten in unterschiedlichen Ländern, bis zur Fertigstellung im Endprodukt, Handel und Konsum. Um der Komplexität der Rolle des Stoffes in der (Um-)Welt gerecht werden zu können, ist es gewinnbringend, alternative Blickwinkel einzunehmen. Eine ästhetisch-künstlerische Hinführung zum Thema stellt eine Möglichkeit dar, sich der Komplexität und Vielfalt der Thematik anzunähern.





Abb. 4: Konzept der Stoffgeschichten. Quelle: Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Wissenschaftszentrum Umwelt

# ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

Eine Ressourcenwende in Bayern ist ein gesellschaftspolitisches Unterfangen. Entscheidende Zusammenhänge zwischen Ge- und Verbrauch eines Konsumguts, und der Zusammenhang zwischen Ressourcennutzung und Lebensstil können mithilfe des Konzepts der Stoffgeschichten, das am Wissenschaftszentrum Umwelt und am Lehrstuhl für Ressourcenstrategie der Universität Augsburg entwickelt wurde, verständlich kommuniziert werden.

## Fazit und Ausblick

Mit dem Projektverbund ForCYCLE wurde über drei Jahre eine Plattform geschaffen, um Akteure aus Wissenschaft, Politik und Wirtschaft zu vernetzen und Ressourcenkompetenz auf- und auszubauen. Für das Gelingen einer Strategie für einen zukunftsweisenden Umgang mit Ressourcen in Bayern ist die Implementierung konkreter und lokal umsetzbarer Maßnahmen entscheidend. Es gilt die Devise: „Global denken, lokal handeln.“ Für den Schutz unseres Planeten sind eine weitere Eindämmung der Rohstoffentnahme und die Fortsetzung des Weges in Richtung einer Kreislaufwirtschaft unabdingbar. Die Erweiterung von Ressourcenkompetenzen und der Aufbau eines Erfahrungs- und Wissensschatzes über Ressourcen lassen sich insbesondere durch die Kooperation von Wissenschaft, Unternehmen und Politik erweitern.

Dieser Artikel ist in ähnlicher Form in der Zeitschrift *Müll und Abfall - Fachzeitschrift für Abfall- und Ressourcenwirtschaft* 6 (2017) erschienen. Weitere Informationen zum Projektverbund und zu den Einzelprojekten unter [www.forcycle.de](http://www.forcycle.de).

## Literatur

- Böschen, S., Reller, A., Soentgen, J. (2004): Stoffgeschichten - eine neue Perspektive für transdisziplinäre Umweltforschung. *GAIA* (13), S. 19-25.
- Günther, J., Golde, M., Kristof, K., Koller, M., Burger, A., Schwermer, S. (2015): Gesamtwirtschaftliche Ziele und Indikatoren zur Rohstoffinanspruchnahme. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/gesamtwirtschaftliche\\_ziele\\_und\\_indikatoren\\_zur\\_rohstoffinanspruchnahme.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/gesamtwirtschaftliche_ziele_und_indikatoren_zur_rohstoffinanspruchnahme.pdf); zuletzt geprüft am 10.04.2017.
- Held, M., Reller, A. (2016): Die stofflichen Voraussetzungen der Energiewende in der Großen Transformation, in: Exner, A., Held, M., Kümmerer, K. (Hg.): *Kritische Metalle in der Großen Transformation*, Berlin: Springer-Verlag, S. 109-135.
- Huppenbauer, M., Reller, A. (1996): Stoff, Zeit und Energie: Ein transdisziplinärer Beitrag zu ökologischen Fragen, *GAIA* (5), Nr. 2, S. 103-115.
- Kümmerer, K. (2016): Konzentration, Funktionalität und Dissipation – Grundkategorien zum Verständnis der Verfügbarkeit metallischer Rohstoffe, in: Exner, A., Held, M., Kümmerer, K. (Hg.): *Kritische Metalle in der Großen Transformation*, Berlin: Springer-Verlag, S. 53-86.
- Madlener, R., Alcott, B. (2011): Herausforderungen für eine technisch-ökonomische Entkoppelung von Naturverbrauch und Wirtschaftswachstum: Unter besonderer Berücksichtigung der Systematisierung von Rebound-Effekten und Problemverschiebungen. <http://webarchiv.bundestag.de/archive/2012/0910/bundestag/gremien/enquete/wachstum/gutachten/m17-26-13.pdf>, zuletzt geprüft am 08.11.2016.

## ForCYCLE – Zukunftssichernde Nutzung von Wertstoffen

- Reller, A., Böckenholt, C., Fendt, J. (2016): Ansatz einer zukunftsweisenden Ressourcennutzung in Bayern – der Projektverbund ForCycle, in: Teipel, U., Reller, A. (Hg.): *4. Symposium Rohstoffeffizienz und Rohstoffinnovationen*. 17./18. Februar 2016, Evangelische Akademie Tutzing, Stuttgart: Fraunhofer Verlag, S. 391-399.
- Reller, A., Fendt, J., Böckenholt, C. (2017): Bericht zur Ressourcenstrategie für Bayern. [http://www.forcycle.de/sites/default/files/berichte/01\\_zukunftssichernde\\_nutzung\\_von\\_rohstoffen.pdf](http://www.forcycle.de/sites/default/files/berichte/01_zukunftssichernde_nutzung_von_rohstoffen.pdf), zuletzt geprüft am 15.03.2017.
- Marschall, L., Schmidt, C., Soentgen, J. (2013): Stoffgeschichten: Ein Instrument zur Analyse und Kommunikation. In: Reller, A., Marschall, L., Meißner, S., Schmidt, C. (Hg.): *Ressourcenstrategien. Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, S. 195–210.
- Umweltbundesamt (UBA) (2016): Rohstoffproduktivität. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/rohstoffe-als-ressource/rohstoffproduktivitaet#textpart-1>, zuletzt geprüft am 02.02.2017.
- Weber, M., Oberender, C. (2014): Ressourceneffizienz im Fokus der betrieblichen Kostenrechnung. [http://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/kurzanalysen/2014-Kurzanalyse-VDI-ZRE-06-Kostenrechnung.pdf](http://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/2014-Kurzanalyse-VDI-ZRE-06-Kostenrechnung.pdf), zuletzt geprüft am 31.01.2017.
- Zepf, V., Reller, A., Rennie, C., Simmons, J., Ashfield, M. (2014): *Materials critical to the energy industry. An introduction*. 2. Auflage. London: Universität Augsburg; BP.

# Wissensgeschichte der terra preta

## PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Sabine Timpf  
sabine.timpf@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2313
- Dr. Carolin von Groote-Bidlingmaier  
carolin.vongroote-bidlingmaier@geo.uni-augsburg.de.  
Tel.: 0821 598 2755
- Prof. Dr. Klaus Hilbert  
hilbert@pucrs.br  
Tel.: +55 51 3320 3534
- Dr. Eije Erich Pabst  
Email: post@eije.de  
Tel.: +55 92 9201 0646
- PD Dr. Jens Soentgen  
jens.soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560
- Prof. Dr. Gabriele Herzog-Schröder  
gabriele.herzog-schroeder@ethnologie.lmu.de  
Tel.: 089 2180 9612

## FÖRDERUNG

- Deutscher Akademischer Austauschdienst, DAAD  
(ProBral 2014-2016), Capes (Brasília, Brasilien)

## Terras pretas im Amazonasgebiet

Im Rahmen einer langjährigen Kooperation mit unserem Partner Prof. Dr. Klaus Hilbert zum Thema terra preta, aus der inzwischen mehrere Publikationen und eine Dissertation hervorgingen, haben wir uns im zurückliegenden Jahr schwerpunktmäßig einer kritischen Historiographie der terra preta Forschung gewidmet. Diese ist wichtig, weil sie exemplarisch zeigt, wie in den Umweltwissenschaften ein Thema, das für lokale Stakeholder von Interesse ist, zu einem dekontextualisierten Thema mutieren kann, das eher für non-place-based actors, wie es in der politischen Ökologie heißt, von Bedeutung ist. Dabei kann Anschluss an die Industrie gefunden werden, zugleich ist die Entwicklung jedoch auch kritisch zu sehen, weil mit der Dekontextualisierung auch neu definiert wird, wer von den Forschungen profitiert. Im Folgenden sollen unsere Gedanken kurz zusammengefasst werden, für Belege usw. verweisen wir auf die in der Literatur genannten Publikationen.

Unter amazonischen Schwarzerden verstehen wir heute dunkle Böden, die in aller Regel nur kleine Flächen von meist 2 - 20 Hektar in den Niederungen Amazoniens bedecken. Diese Böden befinden sich meist in der Nähe von Flüssen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie, verglichen mit anderen Bodentypen Amazoniens, einen wesentlich höheren Nährstoffgehalt (insbesondere an Phosphor und Stickstoff) sowie einen deutlich höheren pH-Wert, (bei etwa 6,7) aufweisen und auch dauerhaft behalten. Des Weiteren sind sie dunkel und weisen fast stets Fragmente vorkolumbianischer Keramik auf.

Diese Böden sind ein Phänomen, etwas, das man im Regenwald nicht erwartet, das dort eigentlich gar nicht

## Wissensgeschichte der terra preta

vorkommen dürfte. Die normalen Urwaldböden (insbesondere Oxisole) sind in aller Regel äußerst nährstoffarm und zudem sehr sauer, haben also einen niedrigen pH-Wert. Sie eignen sich nicht für dauerhafte Landwirtschaft, es sei denn, die Nährstoffe werden durch Kunstdünger bereitgestellt. Die übliche Form der Landwirtschaft in den amazonischen Tropen ist die Brandrodungswirtschaft, durch Verbrennen wird mit Asche und Kohle ein für wenige Jahre fruchtbares Feld erzeugt, welches verlassen wird, wenn die Fruchtbarkeit nachlässt. Dass es terras pretas in Amazonien gibt, ist indigenes Wissen. Weiße Reisende und Forscher erfuhren von dem besonderen Boden erst durch ihre indigenen Begleiter. Gezielt werden solche Erden von den indigenen Gruppen in Amazonien, aber auch von den übrigen Flussanrainern aufgesucht, weil alle Arten von Pflanzungen (abgesehen von Maniok, der auch auf armen Böden wächst) sich auf diesen Böden weitaus besser entwickeln. Von den Indigenen erfuhren europäische Forscher von den Schwarzerden, und sie interessierten sich für diese; denn die Böden enthielten stets Keramikfragmente präkolumbischer Indianerkulturen und waren daher Fundstätten. Über die bloße Feststellung der Existenz der amazonischen Schwarzerdeböden und der Tatsache, dass diese stets Orte sind, an denen auch archäologisch bedeutende Funde getätigt werden können, ging der Ethnologe und Archäologe Curt Unkel Nimuendajú (1883-1945) hinaus. Unkel zählt zu den bedeutendsten Indianerforschern überhaupt und hat sich um die Erforschung und den Schutz der Indianer Brasiliens größte Verdienste erworben. Nimuendajú stützte sich bei seiner Forschung über die terra preta auf die allgemein bekannte Tatsache, dass man dort, wo man eine bestimmte Erde, die im Amazonasgebiet terra preta do índio genannt werde

(Schwarzerde der Indianer), findet, zugleich auch Keramikfragmente früherer Kulturen entdecken könne (siehe Abb. 2). Nimuendajú entdeckte allein in der Umgebung von Santarém, am Zusammenfluss des Rio Tapajós und des Amazonas, auf diese Weise 63 bislang unbekannte Siedlungen.

Nimuendajú erklärt aus einer hellstichigen Interpretation der räumlichen Verteilung der terras pretas, dass es sich nicht um Ablagerungen von Seen und auch nicht um vulkanische Aschen handeln könne, sondern vielmehr um anthropogene Böden, die nicht natürlich vorlagen, wie



Abb. 1: Fruchtbarer, landwirtschaftlich genutzter terra preta Standort in Lago de Limao, Brasilien

## Wissensgeschichte der terra preta

man vor ihm annahm, sondern die von den dort siedelnden Indianern „hergestellt“ worden waren. Ob dies absichtlich oder unabsichtlich geschah, lässt Nimuendajú offen. Dagegen sagt er mit Bestimmtheit, dass alle terras pretas in Amazonien indigenen Ursprungs seien und dass sie ihren Ursprung vor allem der Verbrennung von Holz in Feuerstellen, also nicht der normalen Brandrodung verdanken. Kühn verallgemeinerte er, dass *alle* Schwarzerden auch Fundplätze wären und dass sämtliche Schwarzerden Amazoniens menschengemacht seien. Damit stellte er sich gegen die herkömmliche Deutung, die von einer natürlichen Genese ausging.

Diese Einsicht wies der weiteren, zunächst vornehmlich archäologischen Erforschung der amazonischen Schwarzerden den Weg. Archäologen suchten nunmehr gezielt nach Schwarzerden, die sie sich von Anwohnern (Caboclos) oder Indianern zeigen ließen. Es kann ohne Übertreibung gesagt werden, dass sich das Wissen um präkolumbische Kulturen im Amazonasgebiet zu großen Teilen der Erforschung der Schwarzerdeböden verdankt. Ob die amazonischen Schwarzerden gezielt von den Indianern hergestellt wurden oder eher unabsichtlich entstanden, ist Gegenstand recht kontroverser Einschätzungen. Bis zum Beweis des Gegenteils ist es vernünftig, davon auszugehen, dass die Schwarzerden zumindest teilweise aufgrund von absichtlichem, gezieltem Handeln mit dem Zweck der Bodenverbesserung gebildet wurden.

Die Entdeckung der Schwarzerden hat übergreifende Bedeutung für die Geschichtsschreibung Amerikas, denn sie revidiert auch die Schätzungen der Einwohnerzahl Amazoniens vor Kolumbus. Anlässlich der hohen und dauerhaften Fruchtbarkeit der Schwarzerden schien es nun-

mehr plausibel, dass Amazonien vor Kolumbus nicht eine Bevölkerung von lediglich 1 Million um das Jahr 1500 gehabt habe, sondern ein Mehrfaches davon. Aufgrund von Abschätzungen der bekannten terra preta Flächen wird aktuell eine vor-kolumbische Bevölkerung von 8-10 Millionen für plausibel gehalten.

In den frühen 1980er Jahren setzte die naturwissenschaftliche Erforschung der terras pretas mit den Untersuchungen von Eije Erich Pabst und Gerhard Bechtold ein. Im Jahre 1992 hatte Wim Sombroek, der schon seine Doktorarbeit den Böden Amazoniens gewidmet hatte, die folgenreiche Idee, terra preta mit dem Klimathema zu verbinden. Durch Einbringen von Pflanzenkohle (Biochar in der englischen Literatur) in den Boden wird Kohlenstoff gebunden, weil die Kohle nicht so schnell zu Kohlendioxid oder Methan zersetzt wird wie andere Formen organischen Materials. Sombroek erklärte, dass eine synthetisch hergestellte terra preta, eben jene terra preta nova, bei der Bekämpfung des Klimawandels helfen könne. Tatsächlich schuf Sombroek mit dieser Idee eine internationale Forschercommunity und gab ihr neben dem Mythos auch ein von ihm geschaffenes, indianisch anmutendes Emblem. Sombroek regte die Produktion einer terra preta nova an, die gezielte Produktion von Schwarzerde, wobei dem Einbringen von Biokohle eine entscheidende Rolle zukomme. Diese Biokohle aber bleibe dann im Boden, weil sie viel langsamer verwittere als normales organisches Material; eine Tatsache, die lange bekannt ist, und die auch der Grund ist, weshalb man Pfeiler, die in den Boden eingebracht werden, ankohlt, um sie länger haltbar zu machen.



# Wissensgeschichte der terra preta

Mit seinem Projekt terra preta nova verfolgte Sombroek zunächst und in erster Linie das Ziel, den Einwohnern Amazoniens durch Reaktivierung der indianischen Bodenbearbeitungstechniken ein Instrument an die Hand

zu geben, um selbst größere Ernten einzufahren. Sombroeks Vision wurde und wird umgesetzt. Die Frage ist, ob dies in einer Weise geschieht, die ihn befriedigt hätte. Die terra preta nova ist Gegenstand einer rasch wachsenden,

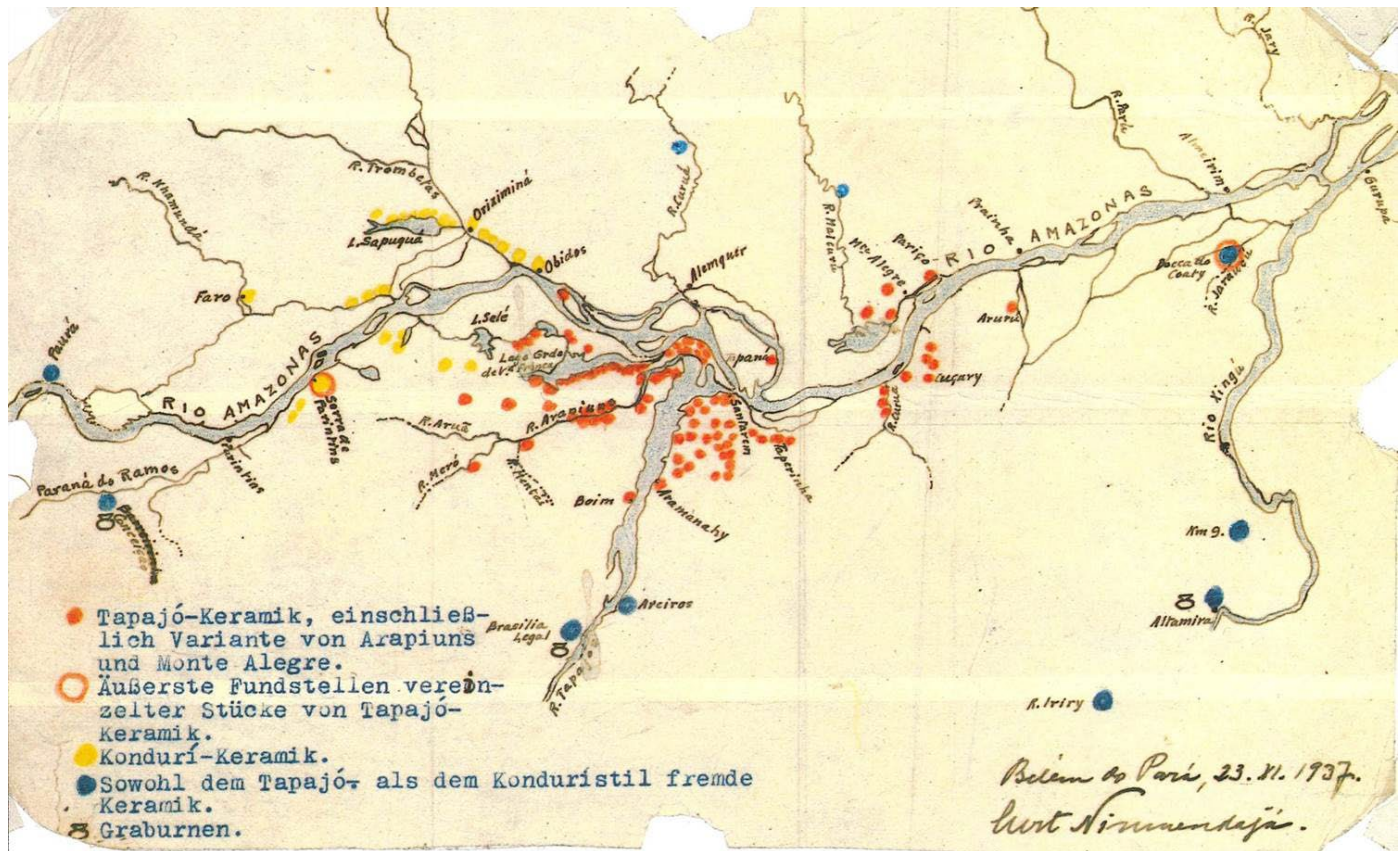


Abb. 2: Nimuendajús Karte der Keramikfunde an Standorten der terra preta. Quelle: © Klaus Hilbert



## Wissensgeschichte der terra preta

kapitalkräftigen Industrie, die aus der terra preta eine Ware gemacht hat, die man inzwischen im Gartenbaucenter säckeweise kaufen kann (siehe Abb. 3).

Von der umfassenden Idee, die Sombroek verfolgte, ist die Community der terra preta recht weit abgekommen. Mehr und mehr rückte die Pflanzenkohle in den Mittelpunkt, wohl aufgrund der Gravitation des Klimathemas. Die klimarettende terra preta nova, die Sombroek projektierte, ist jedoch in mehrfacher Hinsicht von der terra preta do índio verschieden. Sie ist in erster Linie nicht als besonderer Bodentyp charakterisiert, der sich über Jahrhunderte gebildet hat, sondern als ein Stoff, der durch einen bestimmten technischen Prozess, eine Pyrolyse, gezielt hergestellt werden kann und zwar prinzipiell überall. Der Stoff kann überall ausgebracht werden und so bestehende Böden verändern, er ist aber nicht von sich aus ein Boden. Diese terminologische Veränderung machte aus dem lokalen Boden eine künstlich herzustellende Substanz und damit eine Ware.

Zugleich wurde der Mythos stärker in die Öffentlichkeit getragen. Man findet Formulierungen, wonach „uralte(s) Wissen“ „aus dem Regenwald“ nunmehr von Wissenschaftlern reaktiviert wurde und als „Schwarze Revolution aus dem Regenwald“ den „Ausweg für die weltweite Klima- und Hungerkrise“ darstellt.

Damit aber wird nicht nur eine strategische Vision formuliert, sondern ein sinnstiftender Mythos konstruiert, der zugleich als forschungsleitendes Paradigma fungiert. Für Mythen, sinnstiftende Erzählungen, ist nämlich charakteristisch, dass sie das Rettende als Wiederkehr von etwas Uraltem, Vorhistorischen darstellen.

Die Mythisierung hat nicht nur, vielleicht nicht einmal in erster Linie die Funktion, Fördermittelgeber zu überzeugen. Sie hat auch den Zweck, eine Forschercommunity zu begeistern und Nachwuchswissenschaftler zu fesseln.



Abbildung 3: Terra preta nova ist heute kommerziell erhältlich

# Wissensgeschichte der terra preta

Gleichwohl sind die zitierten Versprechen, künstliche terra preta nova könne in erheblichen Mengen Kohlenstoff speichern, mit kritischer Zurückhaltung aufzunehmen. Zum einen gibt es viel zu wenige konkrete Feldstudien, die langfristig nachweisen, dass die Kohlenstoffpartikel auch wirklich im Boden bleiben bzw. die Kohlenstoffbindung nicht durch andere Prozesse (über)kompensiert wird. Gesundheitsbedenken kommen hinzu, denn je nach Ausgangsmaterial kann das Ergebnis von Pyrolyseprozessen durchaus gesundheitsgefährdend sein.

Für die künftige terra preta Forschung dürfte es wichtig sein, neben der Frage der Speicherung von Kohlenstoff, ebenfalls, ganz genau wie es Wim Sombroek vorhatte, den lokalen Nutzen für die Anwohner vor Ort im Blick zu haben. Auch für sie muss die Produktion von terra preta einen Nutzen haben, wenn denn tatsächlich die Reaktivierung von indigenem Wissen nicht nur ein Verkaufsargument sein, sondern tatsächlich zu mehr Nachhaltigkeit führen soll.

## Literatur

- Soentgen, J., Hilbert, K., von Groote-Bidlingmaier, C., Herzog-Schröder, G., Pabst, E. E., Timpf, S. (2017): 'Terra preta de índio': Commodification and Mythification of the Amazonian dark earths. *Gaia. Ecological Perspectives for Science and Society*, 26/2, S. 136-142.
- von Groote-Bidlingmaier, C. (2016): *Developing a Data Driven Approach for the Analysis of Functional Settlement Pattern Considering Environmental Space*. Dissertation, Universität Augsburg, FAI 2016 (unveröffentlicht).
- von Groote-Bidlingmaier, C., Timpf, S., Hilbert, K. (2014): Erstellung von potenziellen Einflussgebieten auf der Basis von archäologischen Ausgrabungsorten – am Beispiel prähistorischer Kulturen im Amazonasgebiet, In: Strobl, J., Blaschke, J., Griesebner, G., Ziegel, B. [Hrsg.]: *Angewandte Geoinformatik 2014 - Beiträge zum 26. AGIT-Symposium Salzburg*, Berlin und Offenbach, S. 77 - 86.
- von Groote-Bidlingmaier, C., Timpf, S., Hilbert, K. (2014): Estimating Moving Regions out of Point Data – from Excavation Sites in the Amazon region to Areas of Influence of Prehistoric Cultures, In: Huerta, J., Schade, S., Granell, C. [Eds]: *Connecting a Digital Europe through Location and Place. Proceedings of the AGILE'2014 International Conference on Geographic Information Science*, Castellón, June, 3-6, 2014. ISBN: 978-90-816960-4-3.

# Politische Ökologie im Anthropozän

## PROJEKTTEAM

- Team des Lehrstuhls für Humangeographie mit Schwerpunkt Ressourcenstrategien
- Prof. Dr. Matthias Schmidt  
schmidt@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2268

## Worum geht es?

Umweltwandel und Umweltdegradation sind im Zeitalter des Anthropozän untrennbar mit den Aktivitäten des Menschen verbunden. Dabei gehen menschlichen Handlungen in der Regel Entscheidungen voraus, die auf Basis des Abwägens von Intentionen und unterschiedlichen Handlungsoptionen getroffen werden. Über den Umgang mit und die Nutzung von Umwelt, Natur oder Ressourcen bestehen unterschiedliche Vorstellungen und oftmals konkurrierende Interessen verschiedener gesellschaftlicher Akteure, weshalb politische Aushandlungsprozesse unvermeidlich sind (s. Abb. 1). Folglich sind Umwelt- und Klimawandel, Umweltdegradation, aber auch die Nutzung und das Management von Naturressourcen nie unpolitisch, sondern eingebettet in politisches Handeln, sei es in Parlamenten, Unternehmen oder Familien. Diese Prämisse einer politisierten Umwelt bildet den Kern der Politischen Ökologie.

Am Lehrstuhl für Humangeographie mit Schwerpunkt Ressourcenstrategien untersuchen wir, dem Ansatz der Politischen Ökologie folgend, die Interessen von Akteuren an Land- und Naturressourcen, deren Intentionen und Handlungspotentiale, tatsächliche und potentielle Res-

sourcenkonflikte sowie die Konsequenzen für Ressourcenmanagement und Umweltwandel.

## Politische Ökologie

Die Politische Ökologie entwickelte sich in den vergangenen Jahrzehnten zu einer anerkannten und einflussreichen Forschungsrichtung und etablierte sich innerhalb der Geographie, der Ethnologie und weiterer Sozialwissenschaften (Bryant 2015, Perreault et al. 2015). Insbesondere im angloamerikanischen Raum genießt sie große Aufmerksamkeit und fand Eingang in zahlreiche Curricula geographischer Studiengänge.

Als Ausgangspunkt der Politischen Ökologie steht die Prämisse, dass Umweltwandel politisiert sowie Ausdruck und Folge politischer Konflikte und Machtverhältnisse ist. Natur und Umwelt können als „Schlachtfeld divergierender Interessen“ (Blaikie 1995) betrachtet werden. Dabei ringen Akteure auf lokaler, regionaler, nationaler oder gar globaler Ebene um Einfluss auf die Nutzung und das Management von Ressourcen.

Im Fokus der Politischen Ökologie standen in den Anfangsjahren Umweltdegradation und -wandel sowie politische Konflikte um Naturressourcen in ländlichen Räumen des Globalen Südens. Die Bandbreite wurde durch Studien in Nordamerika, Europa und in städtischen Räumen sowie durch historische und globale Perspektiven erweitert. Zumeist beziehen sich die Untersuchungen auf den Zusammenhang von Kapitalismus und Staatsintervention einerseits sowie gesellschaftlicher Marginalisierung und Umweltdegradation andererseits.

Auf der einen Seite zeichnet sich die Politische Ökologie durch eine große Bandbreite sowie ihre inter- bzw.

# Politische Ökologie im Anthropozän

transdisziplinäre Reichweite aus. Auf der anderen Seite wird sie aber auch wegen ihrer Unschärfe (*fuzziness*) kritisiert, da sie als Forschungsagenda, Ansatz, Perspektive oder schlichtweg nur als Label für unterschiedlichste wissenschaftliche Problem- und Fragestellungen genutzt wird. Aufgrund ihrer Offenheit bzw. theoretischen Indifferenz wurde die Politische Ökologie immer wieder durch verschiedenste (kritische) theoretische Perspektiven wissenschaftlicher Debatten beeinflusst, verändert und erneuert. Entscheidende Meilensteine waren etwa die stärkere Berücksichtigung konstruktivistischer und post-struktureller Ansätze, die Inkorporation von Kenntnissen der Ungleichgewichtsökologie und der feministischen Wissenschaftskritik oder die diskursive Betrachtung von Umwelterzählungen.

Eine definitorische Abgrenzung dessen, was als Politische Ökologie zu bezeichnen ist, erscheint deswegen nahezu unmöglich, kann jedenfalls weder an konkreten Forschungsobjekten oder Problemstellungen noch an bestimmten Maßstabsebenen oder regionalen Verortungen festgemacht werden. Perreault et al. (2015) sehen die

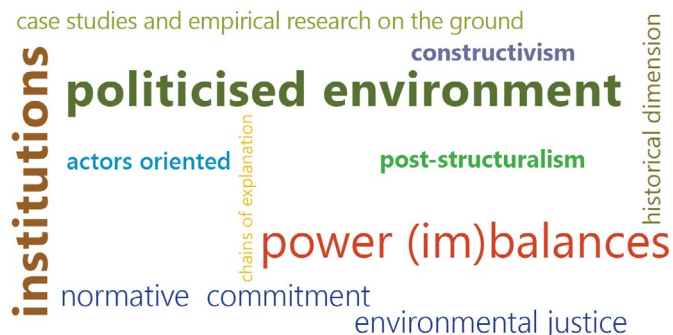


Abb. 1: Bausteine der Politischen Ökologie

einigende Klammer der Politischen Ökologie eher in einer Reihe von gemeinsamen *Commitments*. Hierzu zählen der theoretische Bezug zur Kritischen Gesellschaftstheorie und ein post-positivistisches Verständnis von Natur- und Wissensproduktion sowie eine normative Verpflichtung mit dem Ziel, soziale Gerechtigkeit und strukturellen politischen Wandel unter Bezugnahme auf die Interessen und Nöte marginalisierter Bevölkerungsgruppen herbeizuführen.

Zentrale Prämissen und Bausteine einer Politischen Ökologie, wie sie am Lehrstuhl für Humangeographie verfolgt wird, werden in aller gebotenen Kürze nachfolgend skizziert:

- Umweltwandel und -degradation sind das Ergebnis politischer, gesellschaftlicher und ökonomischer Handlungen verschiedener Akteure.
- Die Komplexität der Mensch-Umwelt-Verhältnisse erfordert die Berücksichtigung verschiedener geographischer Maßstabsebenen (lokal, regional, national, global) und Hierarchien sozioökonomischer Organisationen (Haushalt, Dorf, Region, Staat). Denn lokale Partikularitäten und gesellschaftliche Machtverhältnisse sind eingebettet in multiskalare sozio-politische und ökonomische Prozesse.
- Das Handlungsvermögen der verschiedenen Akteure sowie die Machtverhältnisse beeinflussen maßgeblich die Aushandlung der Ressourcennutzung. Oftmals findet eine Auseinandersetzung zwischen globalen Umweltdiskursen (z.B. Klimawandel) und lokalen Praktiken statt, deren Ergebnisse die existierenden Machtverhältnisse widerspiegeln.
- Natur und Umwelt sind nicht ontologisch gegeben,

# Politische Ökologie im Anthropozän

sondern konstruiert bzw. sozial produziert; die philosophische Grundlage bildet der Kritische Realismus.

- Ressourcenkonflikte sind nicht Folge „natürlicher“ Knappheit, sondern gesellschaftlicher Regelungen des Zugangs, weshalb eine kritische Überprüfung bestehender *Property Rights* sowie der positiven Konnotation von „Entwicklung“ und „Modernisierung“ notwendig erscheint.
- Diskurse und Sprache produzieren ungleiche Machtverhältnisse oder werden von diesen produziert; beispielsweise gilt es, Umweltnarrative und hegemoniale Naturschutzdiskurse zu dekonstruieren.
- Empirische Studien vor Ort mit Schwerpunkt auf qualitativen Erhebungsmethoden sind essentieller Teil der Forschung, um menschliches Handeln und lokale Praktiken adäquat zu erfassen. Wichtig hierbei ist die regionale Dimension und Differenz, da Regionen als dynamisch, kontextualisiert und relational angesehen werden.
- Das Verständnis gegenwärtiger Mensch-Umwelt-Verhältnisse bedarf historischer Kenntnisse, wie und warum sich diese über die Zeit gewandelt (oder nicht gewandelt) haben, und erfordert beispielsweise die Berücksichtigung der *Post Colonial Studies*.
- Erklärtes Ziel der Politischen Ökologie ist die Verbesserung von Lebensbedingungen, Umweltgerechtigkeit und eine nachhaltige Nutzung der Umwelt.

## Herausforderungen im Anthropozän

In jüngeren wissenschaftlichen Debatten erfährt das Anthropozän breite Aufmerksamkeit. Dieses Konzept besagt, dass die Menschheit zum geologischen Faktor gewor-

den ist. Denn Menschen sammeln und entnehmen nicht nur Ressourcen, um zu überleben, sondern spätestens seit dem Neolithikum transformieren und gestalten sie die Erdoberfläche nach ihren Bedürfnissen. Seit der Industrialisierung bedient sich die Menschheit besonders ausgiebig an der Substanz des Planeten durch die Ausbeutung fossiler Rohstoffe, den „unterirdischen Wäldern“, die sich über Jahrmillionen zu Kohle, Öl und Gas wandelten. In der jüngsten Vergangenheit beschleunigten und potenzierten sich die anthropogenen Umwelteinflüsse mit der Errichtung von Megacities, Infrastrukturen und Staudämmen oder den Aktivitäten von Bergbau, industrialisierter Landwirtschaft und Landgewinnungen, weshalb ab Mitte des 20. Jahrhunderts auch von einer Großen Beschleunigung (*Great Acceleration*) gesprochen wird.

Ungeachtet der kontroversen Diskussion über die Terminierung des Beginns des Anthropozän scheint es unbestritten, dass die Menschheit zum Geofaktor geworden ist, deren Wirken zu massiven Transformationen des Erdsraums geführt hat, die im Sinne einer „reflexiven Moderne“ (Beck 2007) wiederum Rückwirkungen und neue Risiken für Mensch und Umwelt implizieren. Zweifellos sind die Entwicklungsleistungen der vergangenen Jahrhunderte beeindruckend und haben für die meisten Menschen, insbesondere im Globalen Norden, das Leben länger, gesünder und sicherer gemacht, den Lebensstandard und die Handlungsoptionen erhöht. Doch zu welchem Preis, auf wessen Kosten und mit welchen Folgen? Denn spätestens mit der Debatte um das Anthropozän ist es offensichtlich, dass das erfolgreiche westliche Modell (Modernisierung, Kapitalismus) als weltweites Vorbild nicht funktioniert. Der Ressourcenverbrauch und die Externalisierung von Kosten und Problemen sind zu hoch und würden bei einer



## Politische Ökologie im Anthropozän

weltweiten Übertragung das Problem der Umwelteingriffe und Ressourcenverknappung potenzieren. Hieraus erwächst für eine kritische Raum- und Umweltwissenschaft wie die Humangeographie die Aufgabe, regionale und gesellschaftliche Differenzen im Hinblick auf die Verursacher problematischer Umwelteingriffe und die von den gewandelten Umweltbedingungen nachteilig Betroffenen herauszustellen. Es ist nur ein kleiner Teil der Menschheit, dessen enormer Ressourcenverbrauch maßgeblich für die gegenwärtigen Umweltprobleme verant-

wortlich zeichnet – der industrialisierte Westen bzw. Globale Norden. Dagegen sind es gerade jene Gruppen, die am wenigsten zu den Umweltbelastungen beitragen, die nun am stärksten darunter zu leiden haben – die marginalisierten Gesellschaften im Globalen Süden. Die kritische Perspektive auf Modernisierung und Kapitalismus sowie der normative Anspruch der Politischen Ökologie impliziert, auf die ungleichen sozialen und ökologischen Kosten hinzuweisen und unter Berücksichtigung der Verantwortung gegenüber den Schwächeren Lösungen zu entwickeln.



Abb. 2: Wasserstelle im äthiopischen Tiefland

# Politische Ökologie im Anthropozän

## Laufende Forschungsarbeiten

Die Humangeographie in Augsburg beschäftigt sich mit den Wechselwirkungen von Umweltwandel und -degradation, Ressourcennutzung und -management sowie den politischen Aushandlungsprozessen und zugrunde liegenden institutionellen Rahmenbedingungen. Dies wird gegenwärtig an Fallbeispielen in verschiedenen Forschungs- und Dissertationsprojekten untersucht. Zu diesen zählen die Analyse konkurrierender Flächenansprüche und -nutzungen im Zusammenhang mit der Energiewende in Deutschland (Bosch et al. 2016), die Frage des Managements von Wasser- und Weidelandressourcen im äthiopischen Tiefland (vgl. Abb. 2) (Schmidt & Pearson 2016), aber auch Anpassungen des Ressourcenmanagements in Südindien als Folge aktueller Klima- und Umweltveränderungen. Weitere laufende Studien beschäftigen sich mit der Wahrnehmung des Klimawandeldiskurses in den peruanischen Anden (Weber & Schmidt 2016), den Transformationen der Umweltpolitik und Naturnarrative auf Kuba, Fragen der Gleichzeitigkeit von Entwicklungsherausforderungen im Globalen Süden sowie theoretischen Ansätzen zum Konzept der Autarkie.

## Literatur

- Beck, U. (2007): *Weltrisikogesellschaft*. Auf der Suche nach der verlorenen Sicherheit. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Blaikie, P. (1995): Changing environments or changing views? A political ecology for developing countries, *Geography* 80, S. 203–214.
- Bosch, S., Rathmann, J., Simetsreiter, F. (2016): Raumverträglicher Ausbau von erneuerbaren Energien – ein

alternativer Standortplanungsansatz für eine nachhaltige Energiewende, *Geographica Helvetica* 71, S. 29–45.

- Bryant, R. L. (Hg.) (2015): *The International Handbook of Political Ecology*, Cheltenham: Elgar.
- Perreault, T., Bridge, G., McCarthy, J. (Hg.) (2015): *The Routledge Handbook of Political Ecology*, Abingdon: Routledge.
- Schmidt, M. (2013): Mensch und Umwelt in Kirgistan: Politische Ökologie im postkolonialen und postsozialistischen Kontext. *Erdkundliches Wissen* 153, Stuttgart: Steiner.
- Schmidt, M. (2016): Politische Ökologie des Postsozialismus, *Geographica Helvetica* 71, S. 259–270.
- Schmidt, M. (2018): Wasserkrise am Urmia-See (Iran): Eine Umwelt- und Sozialkatastrophe des Anthropozän. *Geographische Rundschau* 70(1) (im Druck).
- Schmidt, M., Pearson, O. (2016): Pastoral livelihoods under pressure: ecological, political and socioeconomic transitions in Afar (Ethiopia), *Journal of Arid Environments* 124, S. 22–30.
- Weber, A., Schmidt, M. (2016): Local perceptions, knowledge systems and communication problems around the climate change discourse – examples from the Peruvian Andes, *Erdkunde* 70, S. 355–366.



# Streiflicht: Kristalle der Macht

## PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Lothar Schilling  
lothar.schilling@philhist.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 5548
- PD Dr. Jens Soentgen  
soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560

## Kristalle der Macht: Zur Wissensgeschichte des Salpeters in der Frühneuzeit und im Zeitalter der Französischen Revolution

Wissen ist Macht, versprach Frances Bacon bekanntlich in seiner Programmschrift für die moderne Naturwissenschaft. Die Stoffgeschichte des Salpeters in der Frühen Neuzeit bietet eine Gelegenheit, das Verhältnis von politischer Macht und (wissenschaftlich fundiertem) Wissen quellennah und detailliert zu untersuchen. Denn Salpeter ist der Hauptbestandteil des Schwarzpulvers. Dieses war seit dem Mittelalter und bis zum Deutsch-Französischen Krieg 1871 das alleinige Treibmittel aller Feuerwaffen. Die Versorgung mit Salpeter hatte daher strategische Bedeutung. Zugleich hat die Gewinnung von Salpeter auch ökologische Bedeutung, weil es ein wichtiger Pflanzennährstoff ist. Die Gewinnung für militärische Zwecke geriet in der Geschichte oft in Konflikt mit der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Daher widmet sich eines unserer Forschungsprojekte dem Salpeter. Seit dem Aufkommen von Feuerwaffen im Mittelalter

wurde Salpeter (v.a. Kaliumnitrat,  $\text{KNO}_3$ ) als Hauptbestandteil des „Schießpulvers“ überall in Europa rasch eine begehrte Substanz. Ehe im 19. Jahrhundert an der südamerikanischen Westküste der systematische Abbau von Natriumnitrat (Chilesalpeter) begann, das dann als Grundstoff für die Herstellung von Konversionssalpeter diente, suchten europäische Herrscher und Staaten ihren wachsenden Salpeterbedarf durch Einfuhren aus Ostasien, vor allem aber durch Gewinnung in ihrem jeweiligen Herrschaftsgebiet zu sichern. Dieses Ziel suchten sie unter anderem dadurch zu erreichen, dass sie Herstellung, Handel und Verwendung von Salpeter zu einem durch drakonische Strafen bewehrten Regal bzw. Monopol erklärten. Um an die knappe, seit dem 18. Jahrhundert zunehmend auch als Stickstofflieferant für ausgelaugte Böden genutzte Substanz zu kommen, wurden mit speziellen Privilegien ausgestattete „Salpeterer“ (s. Abb. 1) ermächtigt, sich Zugang zu den Ställen der Bauern zu verschaffen, um dort den ausgeblühten Salpeter (s. Abb. 2) von den Wänden abzukratzen und ggf. den Stallboden abzugraben und auszukochen. Im Auftrag von Landesherren errichtete man „Salpetergärten“ und „Salpeterpyramiden“, in denen organische Abfälle zur Salpetergewinnung genutzt wurden; auch Müllablagen, Schlacht- und selbst Friedhöfe galten als geeignete Orte, um „Salpetererde“ zu gewinnen. Diese Verfahren waren langwierig und mühsam; sie waren Gegenstand unzähliger sozialer Konflikte, aber auch zahlreicher Verbesserungsvorschläge. Zumal im Zeitalter der politischen und ökonomischen „Doppelrevolution“ (u.a. von Lavoisier) immer wieder Projekte zur Verbesserung der Ausbeute und der Qualität des produzierten Salpeters vorgelegt wurden. Das den Salpeter und seine Gewinnung betreffende Wissen galt dabei als in besonderem Maße

## Streiflicht: Kristalle der Macht



Abb.1: Dieser alte Stich zeigt das Handwerk des Salpeterers (© Jens Soentgen)



## Streiflicht: Kristalle der Macht

herrschafts- bzw. staatsrelevant. Denn die Frage, wie Salpeter in guter Qualität und ausreichender Quantität beschafft werden konnte, war für die Rüstung und damit für den Machterhalt oder die Machtexpansion von hoher Bedeutung. Salpeter ist, wie bereits erwähnt, mit ca. 75 Prozent der Hauptbestandteil des Schießpulvers und viel schwerer zu beschaffen als Holzkohle und Schwefel: Dies macht den hohen, an zahlreichen Publikationen ablesbaren Aufwand, der um diesen Stoff getrieben wurde, verständlich.



Abb. 2: Ausgeblühter Salpeter an einer Mauer

Das Wissen um die unscheinbaren weißen Kristalle wurde von herrschaftlich-staatlicher Seite gefördert, bisweilen verheimlicht, in Einzelfällen auch bewusst popularisiert – so 1794/95, als das gegen eine übermächtige Fürstenkoalition kämpfende revolutionäre Frankreich in einer breit angelegten Kampagne viele ‚Citoyens‘ zu Salpetersiedern ausbildete und damit erfolgreich die materiellen Voraussetzungen für die Verteidigung der „patrie en danger“ schuf.

Bis heute ist die Geschichte des Salpeters vor allem von der Wissenschafts- und Technikgeschichte behandelt worden – Disziplinen, die lange durch eine latent teleologische Perspektivierung ihrer Gegenstände gekennzeichnet waren, die auf eine Herleitungsgeschichte des modernen naturwissenschaftlichen Wissens und der assoziierten Disziplinen abzielte. Dadurch wurden die „außerwissenschaftlichen“ Voraussetzungen für das Zustandekommen, die Verbreitung, die Wirkung und den Erfolg von Wissen weitgehend ausgeblendet. Aus der Sicht der diese Aspekte breit einbeziehenden neueren Wissensgeschichte hingegen ist die Geschichte des Salpeters bislang kaum behandelt.

Vor diesem Hintergrund verfolgt unser Projekt das Ziel, in einem breiten Horizont das die Gewinnung und Nutzung von Salpeter betreffende Wissen europäischer Gesellschaften bis zum „Siegeszug“ des „Chilesalpeters“, der im frühen 19. Jahrhundert beginnt, in den Blick zu nehmen. Dieses Wissen soll dabei als „staats- und herrschaftsbezogenes Wissen“ untersucht werden – als ein Ansatz, der das Stoffgeschichtenkonzept aufgreift, vertieft und erweitert und der nicht allein die konsolidierten Wissensbestände von Herrschern bzw. Staaten einbezieht, sondern auch jenes Wissen, das für sie entwickelt wur-

## Streiflicht: Kristalle der Macht

de, ohne dass dessen Nutzung als „Regierungswissen“ im Rahmen institutionalisierter Verfahrensabläufe bereits etabliert gewesen wäre. Der Frage nach der sozialen Lokalisation und Zirkulation der entsprechenden Wissensbestände und nach dem Verhältnis von administrativem, praktischem und gelehrtem „Salpeterwissen“ wird dabei besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. In einem im November 2016 durchgeführten Workshop, an dem international renommierte Experten u. a. aus Österreich, den USA und Frankreich teilnahmen, wurde der viel diskutierte Zusammenhang von Wissen und Macht jenseits allgemeiner philosophischer Postulate am Beispiel einer bedeutenden Machtressource konkret erforscht.

### Literaturhinweis

- Ertl, G., Soentgen, J. (Hg.): *N Stickstoff - ein Element schreibt Weltgeschichte*, München: Oekom Verlag.

## LOKALE UMWELTEN

- 63 Virtuelles Alpenobservatorium (VAO)
- 66 VAO Teilprojekt: Statistisches Downscaling
- 70 VAO Teilprojekt: Monitoring und Analyse der Wasserflüsse
- 75 Betrachtung des regionalen CO<sub>2</sub>-Haushalts auf Basis atmosphärischer Messreihen
- 82 Das Projekt ISOBEL – Integratives Geschiebemanagement an der oberen Iller
- 88 Streiflicht: Neues von der Uni-Heide – Beweidungsprojekt
- 92 Streiflicht: Natur auf dem Campus

# Virtuelles Alpenobservatorium (VAO)

## PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
jucundus.jacobeit@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2670
- Prof. Dr. Karl-Friedrich Wetzel  
karl-friedrich.wetzel@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2277
- Prof. Dr. Ralf Ludwig  
r.ludwig@lmu.de  
Tel.: 089 2180 6677
- PD Dr. Christoph Beck  
christoph.beck@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2129
- PD Dr. Matthias Bernhardt  
matthias.bernhardt@boku.ac.at  
Tel.: +43 1 47654 5508
- PD Dr. Andreas Philipp  
a.philipp@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2266
- Severin Kaspar  
severin.kaspar@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3564
- Stefan Weishaupt  
stefan.weishaupt@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3565
- Michael Weber  
m.weber@iggf.uni-muenchen.de  
Tel.: 089 3187 2582

## PROJEKTLAUFZEIT

- 2014-2017

## PROJEKTPARTNER

- Bayerische Akademie der Wissenschaften, Abteilung Glaziologie der Kommission für Erdmessung und Glaziologie, Dr. L. Braun
- Bayerischer Lawinenwarndienst, B. Zenke
- BOKU Wien, Institute of Water Management, Hydrology and Hydraulic Engineering, Prof. Dr. K. Schulz
- Deutscher Wetterdienst, Station Zugspitze und Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg, Dr. W. Thomas, Dr. J. Seltmann
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (Standort Davos), Dr. M. Lehning, Dr. C. Fierz
- Helmholtz-Zentrum München, Institut für Strahlenschutz, Dr. K. Hürkamp, Dr. J. Tschiersch
- KIT, IMK-IFU Garmisch-Partenkirchen, Prof. Dr. H. Kunstmann
- Pyrenean Institute of Ecology Zaragoza, Dr. N. Lopez-Moreno
- University of Saskatchewan, Global Institute for Water Security, Prof. Dr. J. Pomeroy
- Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien, Dr. E. Ludewig
- Universität Graz, Prof. Dr. W. Schöner

## FÖRDERUNG

- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz

## Virtuelles Alpenobservatorium (VAO)

### Zum Abschluss des Verbundprojekts „Virtuelles Alpenobservatorium“ (VAO)

Das Konsortium der Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS, siehe Abb. 1) ist in den Jahren 2014 bis 2017 vom Bayerischen Umweltministerium mit rund 3 Mio. Euro für ein Verbundprojekt gefördert worden, das den erläuterungsbedürftigen Obertitel „Virtuelles Alpenobservatorium“ (VAO) trägt. Dieser Begriff – ursprünglich gemünzt auf die Ausweitung und Einbettung der UFS in ein übergreifendes virtuelles Institut aller Höhenforschungsobservatorien im Alpenraum – wurde auch für dieses Verbundprojekt herangezogen, um u.a. die geforderte Vernetzung jedes einzelnen Teilprojektes mit mindestens einem alpinen VAO-Mitglied jenseits der UFS zum Ausdruck zu bringen. Thematisch war das VAO-Verbundprojekt sehr breit aufgefächert, die zehn Teilprojekte der UFS-Konsortialpartner verteilten sich auf die Schwerpunktthemen „Atmosphärische Variabilität und Trends“, „Alpine Umwelt: Risiken und Gefahren“, „Alpiner Wasserhaushalt“ sowie das Infrastrukturprojekt „Alpines Datenanalysezentrum“. Eines dieser zehn Teilprojekte, **„Klimawandel und Wasserbilanz in Hochgebirgsregionen“**, getragen vom Institut für Geographie der Universität Augsburg und vom Department für Geographie der LMU München, war in seinem Augsburger Teil direkt am WZU angesiedelt, aufgegliedert in einen klimatologischen Part (siehe den nachfolgenden Bericht „VAO Teilprojekt: Statistisches Downscaling meteorologischer Variablen mit hydrologischer Relevanz an der Station Zugspitze und der Station Hoher Sonnblick“) sowie in einen hydrologischen Part (siehe den nachfolgenden Bericht „VAO Teilprojekt: Monitoring und Analyse



Abb. 1: Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS), Oktober 2017



## Virtuelles Alpenobservatorium (VAO)

der Wasserflüsse“), darüber hinaus sind vom Projektpartner an der LMU schneehydrologische Modellierungen durchgeführt worden. Als VAO-Vernetzungspartner war das im zentralen Alpenraum gelegene österreichische Sonnblick-Observatorium einbezogen.

Neben diesem Teilprojekt im Schwerpunktthema „Alpiner Wasserhaushalt“ war die Universität Augsburg auch an weiteren VAO-Teilprojekten beteiligt, so mit dem Institut für Physik an einer „Länderübergreifenden Untersuchung der Dynamik von atmosphärischen Wellen im Gebirge“ und am Infrastrukturprojekt „Alpines Datenanalysezentrum“. Schließlich ist im Rahmen des Teilprojekts „Trends klimawirksamer Gase und Aerosole und raumzeitliche Deposition persistenter Umweltschadstoffe“ vom federführenden Umweltbundesamt der Part „Klimawirksame Gase“ an die Geographie der Universität Augsburg delegiert worden; darüber war bereits im WZU-Jahresbericht 2016 zu lesen, mittlerweile hat sich eine weitere Projektförderung dieser Thematik durch das Umweltbundesamt ergeben, über die im nachfolgenden Beitrag „Betrachtung des regionalen CO<sub>2</sub>-Haushalts auf Basis atmosphärischer Messreihen“ berichtet wird. Zusammenfassend darf festgestellt werden, dass die Augsburger Beteiligungen am VAO-Verbundprojekt sehr ertragreich gewesen und teilweise schon in weiterführende Projektbearbeitungen eingemündet sind.

# VAO Teilprojekt: Statistisches Downscaling

## Virtuelles Alpenobservatorium (VAO): Statistisches Downscaling meteorolo- gischer Variablen mit hydrologischer Relevanz an der Station Zugspitze und der Station Hoher Sonnblick

### Worum geht es?

Im Rahmen des Verbund-Projektes Virtuelles Alpenobservatorium (VAO) wurden im vorliegenden Teilprojekt statistische Downscaling-Modelle entwickelt, um potentielle zukünftige Änderungen in lokalen Größen mit hydrologischer Relevanz abschätzen zu können.

### Zielsetzung und Methoden

Es wurde dabei auf drei nicht lineare statistische Methoden zur Modellbildung zurückgegriffen, welche jeweils auf Basis täglicher Daten operieren. Als erstes ist der reference class forecast (RCF) zu nennen, welcher auf Zirkulationstyp-Klassifikationsverfahren (circulation type classifications, CTC) basiert (Philipp et al. 2010). Weiterhin wurden Künstliche Neuronale Netze (KNN bzw. Artificial Neural Networks, ANN) kalibriert, ein nicht lineares Regressionsverfahren (McCulloch et al. 1943). Das dritte Verfahren stellt eine Kombination aus Zirkulationstyp-Klassifikationen und ANNs dar (CTC + ANN).

### Durchführung und Ergebnisse

Zunächst werden die Modelle kalibriert. Dabei werden sie mittels Beobachtungsdaten angepasst und hinsichtlich der Modellgüte bewertet (Validierung). Taugliche Modelle können anschließend auf Datensätze globaler Klimamodelle (GCMs) übertragen und Zukunftsprojektionen durchgeführt werden.

In der Kalibrierung dienen als lokale Zielgrößen (Prädiktanden) die Messzeitreihen des variablen Niederschlags (prc), der Temperatur (tmp), relativen Feuchte (rhum) und Windgeschwindigkeit (wnd) der Station Zugspitze sowie Temperatur und Niederschlag der Station Hoher Sonnblick. Die großskaligen Eingangsvariablen (Prädiktoren) stammen aus Reanalyse-Daten (20th Century Reanalysis V2). Die Modelle wurden anschließend auf verschiedene Realisationen sieben verschiedener globaler Klimamodelle übertragen, als Zukunftsszenarien dienen das RCP 45- und RCP 8.5-Szenario (Van Vuuren et al. 2011).

In Abbildung 1 werden die Ergebnisse der Modellkalibrierung und -validierung zusammenfassend dargestellt. Jedes Symbol entspricht dem mittleren Ergebnis einer 15fachen Kreuzvalidierung. In allen Fällen zeigt die alleinige Anwendung der ANNs die beste Modellperformanz in der Validierung (grün), dicht gefolgt von dem kombinierten Ansatz aus CTC + ANN. Die niedrigste Modellgüte erreichen die CTC-Ansätze.

Abbildung 2 zeigt als Resultat der Übertragung der kalibrierten Modelle auf die Prädiktoren aus den GCMs die Zukunftsprojektionen für die lokalen Zielgrößen auf der Zugspitze bzw. an der Station Hoher Sonnblick bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Die dünnen Linien repräsentieren jeweils die zentrale Tendenz einer spezifischen Kombination aus GCM und statistischem Modell, wohin-

## VAO Teilprojekt: Statistisches Downscaling

gegen die dicken Linien den Ensemblemittelwerten aller modellierten Zeitreihen entsprechen. Diese wurden auf einen möglichen Trend mittels Trend-Rausch-Verhältnis (Schönwiese 2006) unter Berücksichtigung einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95% überprüft. Nur die beiden Szenarien der zukünftigen Temperaturentwicklung (RCP 4.5 in blau und RCP 8.5 in rot) beider Stationen

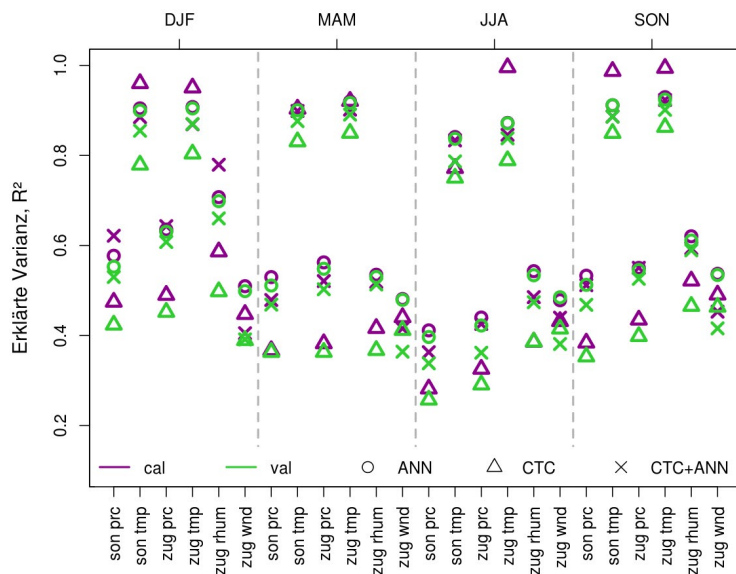


Abb.1: Modellperformanz ( $R^2$  zwischen modellierten und beobachteten Werten) im Kalibrierungs- (cal) und Validierungszeitraum (val), saisonal differenziert für die Prädiktanden Niederschlag (prc), Temperatur (tmp), relative Feuchte (rhüm) und Windgeschwindigkeit (wnd) an den Stationen Zugspitze (zug) und Hoher Sonnblick (son)

weisen einen signifikant positiven Trend auf (vgl. Abb. 2 a und b). Zwischen den beiden Szenarien nimmt erwartungsgemäß der Unterschied gegen Ende des 21. Jh. zu, der höhere Strahlungsantrieb des RCP 8.5 resultiert dabei in einer höheren Jahresmitteltemperatur. Die projizierten jährlichen Niederschlagssummen beider Stationen unterliegen im Laufe des 21. Jahrhunderts keinen starken Änderungen (Abb. 2 c und d). Dies schließt jedoch saisonale Änderungen nicht aus. Betrachtet man die Entwicklung der relativen Feuchte an der Zugspitze (Abb. 2 e), so zeichnet sich visuell ein leichter insignifikanter Rückgang im Jahresmittel ab, während im Verlauf des 21. Jh. in der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit (Abb. 2 f) visuell eine leichte insignifikante Zunahme auszumachen ist. Es zeigt sich zudem, dass der Effekt des erhöhten Strahlungsantriebs des RCP 8.5 im Vergleich zu RCP 4.5 nur bei der Temperatur beider Stationen und der relativen Feuchte der Zugspitze zu signifikanten Unterschieden im projizierten Verlauf führt (U-Test, Sicherheitswahrscheinlichkeit 95%, Mann & Whitney 1947).

### Ausblick

In Kooperation mit der LMU-München (Department für Geographie) dienen die erstellten Zeitreihen als Basis der schneehydrologischen Modellierung in der Region Zugspitze, um unter anderem zukünftige Änderungen der jährlichen Schneedynamik sowie der Gletschermassenbilanz abschätzen zu können.

## VAO Teilprojekt: Statistisches Downscaling

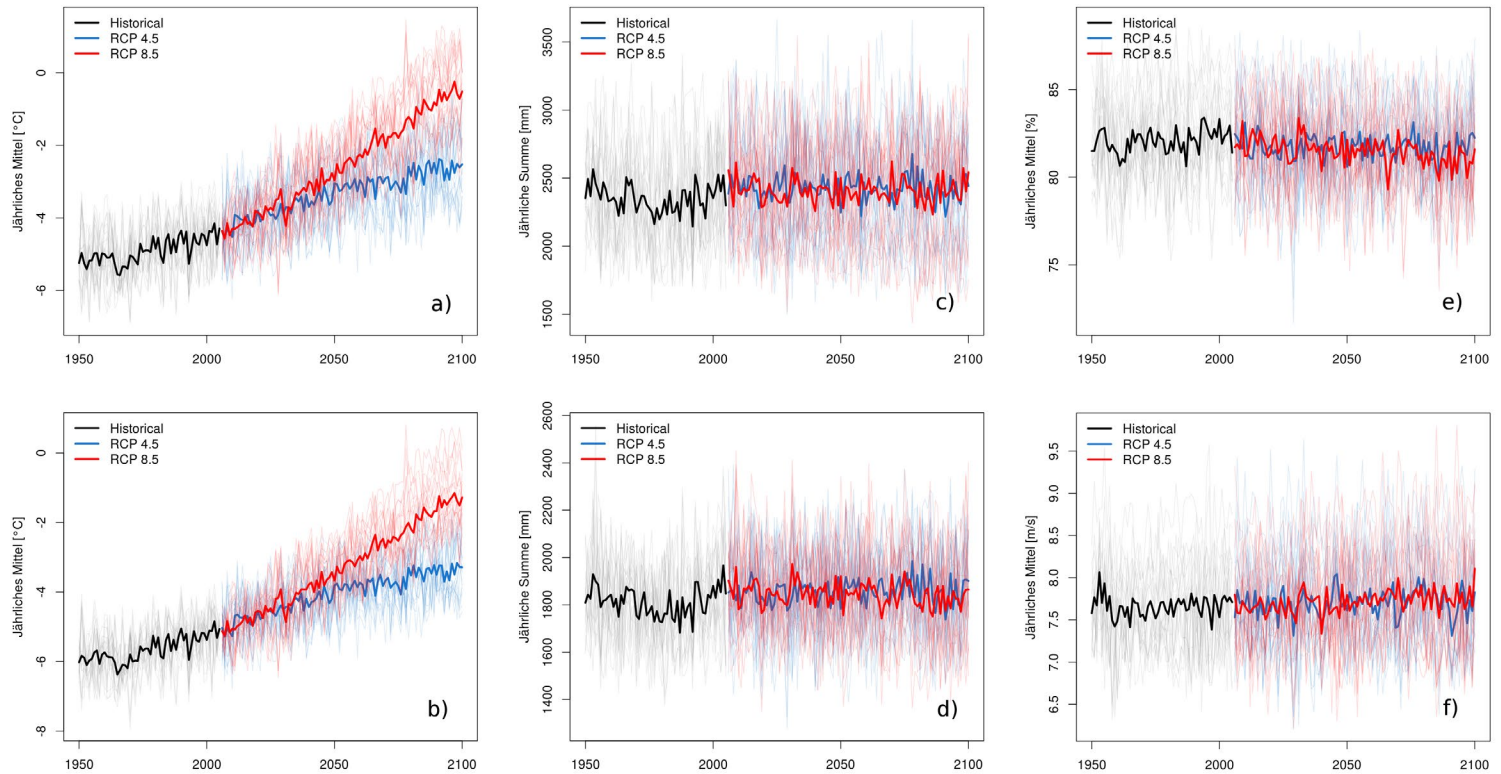


Abb. 2: Ergebnisse der Projektionsrechnung für die Station Zugspitze: a) Temperatur, c) Niederschlag, e) relative Feuchte und f) Windgeschwindigkeit sowie die Station Hoher Sonnblick: b) Temperatur und d) Niederschlag jeweils für die beiden Zukunftsszenarien RCP4.5 und RCP8.5

# VAO Teilprojekt: Statistisches Downscaling

## Literatur

- Mann, H. B., Whitney, R. (1947): On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other, *The annals of mathematical statistics*, S. 50-60.
- McCulloch, W. S., Pitts, W. (1943): A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *The bulletin of mathematical biophysics*, 5, S. 115-133.
- Philipp, A., Bartholy, J., Beck, C., Erpicum, M., Esteban, P., Fettweis, X., Huth, R., James, P., Jourdain, S., Kreienkamp, F., Krennert, T., Lykoudis, S., Michalides, S. C., Pianko-Kluczynska, K., Post, P., Álvarez, D. R., Schiemann, R., Spekat, A., Tymvios, F. S. (2010): COST-733CAT - a database of weather and circulation type classifications, *Physics and Chemistry of the Earth*, 35, S. 360-373.
- Schönwiese, C. D. (2006): *Praktische Methoden für Meteorologen und Geowissenschaftler*, Stuttgart.
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J. F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., Rose, S. K. (2011): The representative concentration pathways: an overview, *Climatic Change*, 109, S. 5-31.

# VAO Teilprojekt: Monitoring und Analyse der Wasserflüsse

## Worum geht es?

Die Alpen sind aufgrund ihrer hohen Niederschlagsraten und Funktion als Zwischenspeicher von enormer hydrologischer Bedeutung für die Vorländer und tragen zur Sicherung der Wasserversorgung bei. Ungeachtet dessen sind der alpine Wasserhaushalt, die verschiedenen Schmelzwasserprozesse und klimabedingten Veränderungen sowie Entwicklungen der Hydrologie im Hochgebirge bisher in unzureichendem Maße erforscht. Vor diesem Hintergrund förderte das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz im Verbundprojekt „Virtuelles Alpenobservatorium“ (VAO) das dreiteilige Projekt „Klimawandel und Wasserbilanz in Hochgebirgsregionen“. Ein Teilbereich dieses Projekts umfasst das Monitoring von Wasserhaushaltsgrößen und Tracer-basierte hydrologische Untersuchungen, um Wasserflüsse sowie die Zusammensetzung der Abflusskomponenten zu quantifizieren und die Abflussprozesse zu verstehen. Dies bildet die Grundlage und Voraussetzung zur nötigen Anpassung an die klimasensiblen Änderungen in der Hydrosphäre, mit denen die Bevölkerung unter anderem im Bereich der Wirtschaft, der Versorgung mit Energie und Trinkwasser konfrontiert werden wird. Als Untersuchungsregion dient das Zugspitzplatt südlich des Zugspitzgipfels, weil die dort bestehende Infrastruktur und die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus (UFS) die kontinuierliche Datenerfassung erheblich erleichtert. Das Gebiet wird ausschließlich über den Partnach-Ursprung entwässert, was eine genauere Bilanzierung und exemplarische hydrologische Modellierung des Gebirgsraums ermöglicht, welche in einem zweiten Arbeitspaket am Geographischen Institut der LMU München durchgeführt wurde.

## Zielsetzung und Methoden

Die zentralen Zielsetzungen des Forschungsteilprojekts fokussieren auf die Erfassung der für die Wasserbilanz im alpinen Raum besonders wichtigen Schmelzwasserflüsse aus Gletscher- und Schneeschmelze mittels innovativer Modellierungs- und Monitoringkonzepte sowie kontinuierlicher, zeitlich und räumlich hochaufgelöster schnee- und glazialhydrologischer Messungen im Zugspitzgebiet. Unterschiedliche Methoden und Methodenkombinationen wurden eingesetzt, um den Abfluss und die Abflusssanteile aus Oberflächenabfluss, Schneeschmelze und Grundwasser an der Partnachquelle zu erforschen, über die das gesamte Zugspitzplatt entwässert. Abflussänderungen in hochalpinen Entwässerungsnetzen sind vor allem auf die zeitliche und räumliche Variabilität von festen und flüssigen Niederschlägen sowie Veränderungen der Schneedeckenlagerung und des Glazialvolumens durch Schmelzprozesse zurückzuführen. Das nivale alpine Abflussregime der Partnach ist durch hohe schmelzwasserbedingte sommerliche Abflüsse und niedrige Abflüsse im hydrologischen Winterhalbjahr (ausbleibende Niederschläge in flüssiger Form) charakterisiert.

Um die räumliche Heterogenität aller Wasserbilanzkomponenten genau zu messen, wurden die Datenreihen des bereits vorhandenen Messnetzwerks, bestehend aus drei schneehydrologischen Stationen auf dem Zugspitzplatt (siehe Abb. 1), fortgeführt und durch weitere Stationen des bayerischen Lawinenwarndienstes (LWD), des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und der Universität Augsburg im Gebiet ergänzt.

Eine hydrologische Messstation in der Nähe der Karstquelle „Partnach-Ursprung“ erlaubt eine kontinuierliche Registrierung des Gesamtabflusses, welcher durch



## VAO Teilprojekt: Monitoring und Analyse der Wasserflüsse

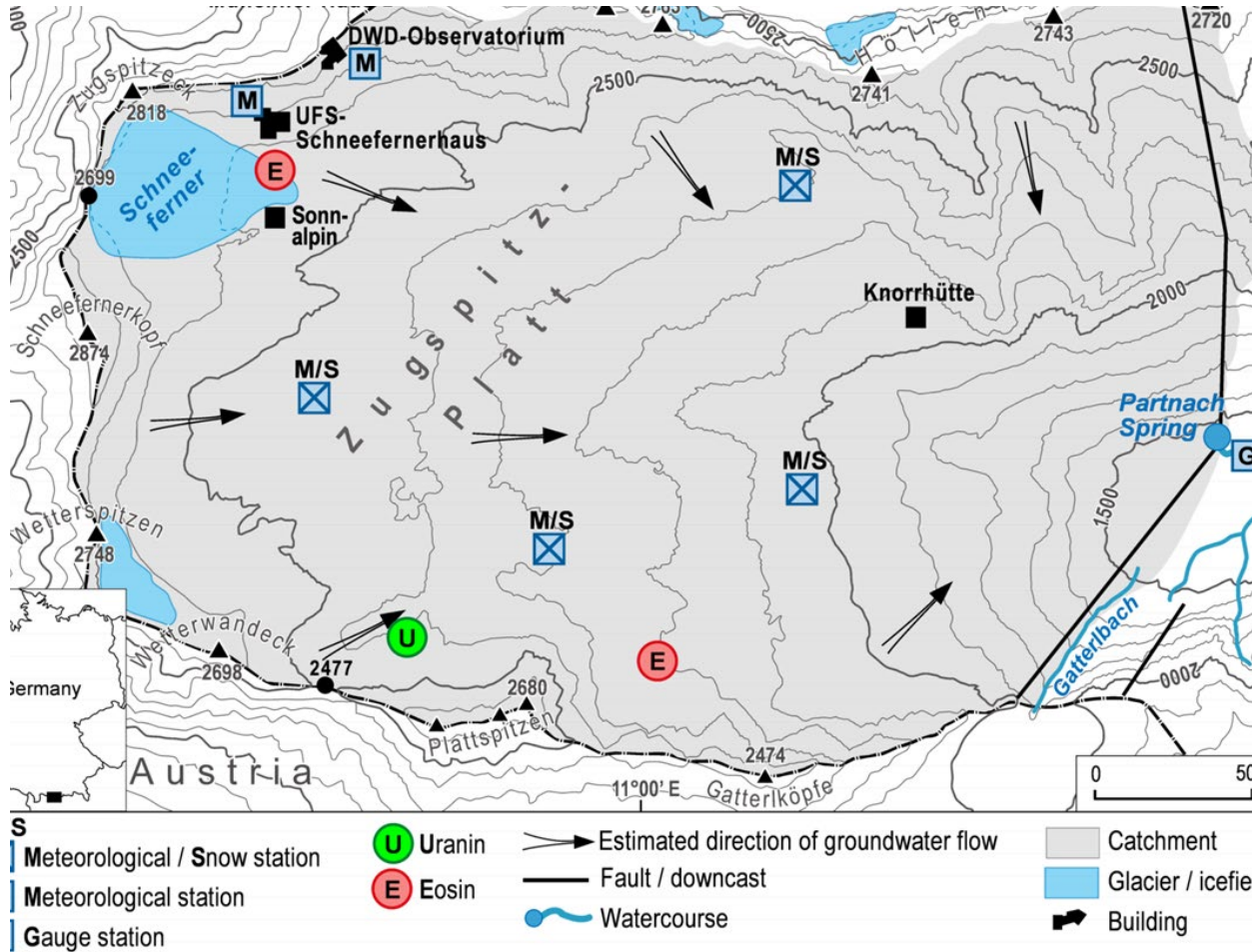


Abb. 1: Messnetzwerk am Zugspitzplatt mit den meteorologischen Messstationen, der Pegelstation am Partnach-Ursprung, den Eingabeorten der Markierungsversuche (Uranin und Eosin) und der vermuteten Grundwasserfließrichtung (Rappl et al. 2010)

## VAO Teilprojekt: Monitoring und Analyse der Wasserflüsse

eine zuverlässige Wasserstand-Abflussbeziehung mittels Salzverdünnungsmessungen berechnet wird. Physikochemische Parameter wie elektrische Leitfähigkeit (EL) und Temperatur sowie die Bestimmung der isotopischen Zusammensetzung des Gletschereises, der Abflüsse, der Niederschläge und der Schneedecken zu verschiedenen Zeitpunkten liefern den Beleg für unterschiedliche Abflussprozesse im Karstsystem und ermöglichen die Trennung von Abflusskomponenten wie den Schmelzwasserabfluss.

### Durchführung und Ergebnisse

Im Rahmen des Projekts wurden umfangreiche Untersuchungen des Schneedeckenaufbaus und seiner isotopischen Zusammensetzung vorgenommen (siehe Abb. 2). Die Proben wurden durch Massenspektrometrie analysiert, um die Isotopenzusammensetzung der Schneesicht zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu bestimmen. Die Ergebnisse der Beprobung der vergangenen Winterhalbjahre weisen eine starke Heterogenität der isotopischen Zusammensetzung der Schneedecke im räumlichen und zeitlichen Verlauf auf und zusätzlich finden isotopehydrologische Fraktionierungsprozesse während den Phasenübergängen innerhalb der Schneedecke statt. Deshalb kann die isotopische Zusammensetzung des Schneesmelzwassers während der Schmelzperiode nur bedingt vorhergesagt werden. Nur die massenspektrometrischen Analyseergebnisse der Konzentration an stabilen Isotopen ( $2\text{H}$  und  $18\text{O}$ ) des abfließenden Schneesmelzwassers, des flüssigen Niederschlags und des Gletschereises geben genaue Kenntnisse über den Input ins Karstsystem. Diese Inputkomponenten wurden daher parallel an verschiede-

nen Stellen auf dem Zugspitzplatt und an der Karstquelle seit dem Sommer 2014 beprobt und gemessen.

Das Quellwasser stammt allerdings zu Beginn der Schmelze nicht direkt aus Schmelzwasser, sondern hauptsächlich aus dem tiefen Karstspeicher der phreatischen Zone. Dieses mit zunehmender Verweildauer höher mineralisierte „Karstwasser“ wird im Laufe der Schneeschmelze durch das weniger mineralisierte Schmelzwasser nach und nach verdrängt und ausgetauscht, was durch die saisonale Variabilität der EL nachgewiesen werden kann. Wie Abb. 3 exemplarisch für das Abflussjahr 2016 zeigt, nimmt die



Abb. 2: Schneedeckenaufnahmen und Beprobungen im Winterhalbjahr

## VAO Teilprojekt: Monitoring und Analyse der Wasserflüsse

EL des Partnachwassers während der Schneeschmelze ab, weil das schwachmineralisierte Schmelzwasser zu einer Verdünnung des Karstwassers führt. Die niedrigste EL wird meistens Anfang Juli erreicht. Danach geht der kontinuierliche Zufluss aus der Schmelze zurück und die EL im Abfluss steigt bis zum Ende des Jahres wieder an. Der Anteil des Direktabflusses aus Schmelzwasser und Niederschlägen steigt bis zum Höhepunkt der Schneeschmel-

ze auf maximal ca. 80 %.

Der Tracer-basierte Ansatz mittels der stabilen Isotope und der elektrischen Leitfähigkeit ermöglicht eine Separation der Abflusskomponenten und zusammen mit dem Monitoring der hydrometeorologischen Eingangsgrößen eine detailliertere Wasserhaushaltsbilanzierung. Die so erhobenen und aufgezeichneten Daten sind wichtige Instrumente zur Validierung von schneehydrologischen

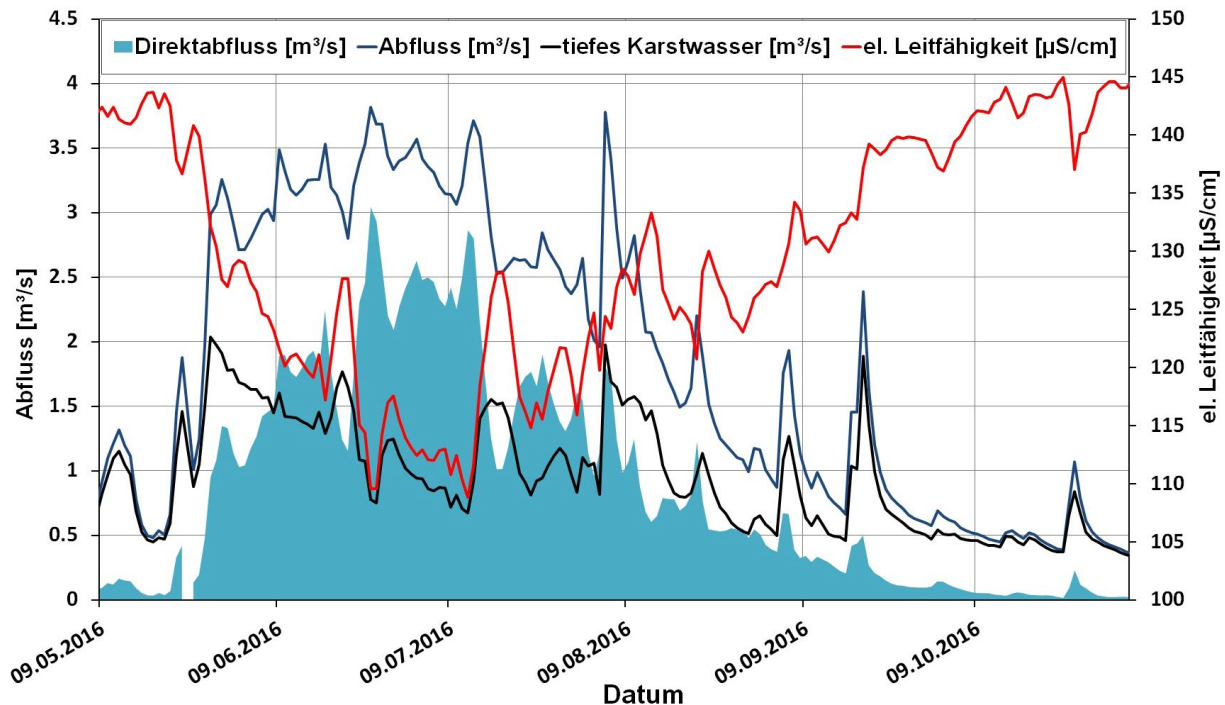


Abb. 3: Separation des tiefen Karstwassers vom Direktabfluss im hydrologischen Sommerhalbjahr 2016 mit Hilfe der elektrischen Leitfähigkeit als geochemischer Tracer an der Partnach-Pegelstation

## VAO Teilprojekt: Monitoring und Analyse der Wasserflüsse

Modellen zur Abschätzung zukünftiger Verhältnisse. Die Fortführung des hochalpinen Monitorings erlaubt mit zunehmender Datenfülle und kontinuierlicher langjähriger Historie ein genaueres Verständnis der Abflussgenese im Hochgebirge und eine genauere Abschätzung des Einflusses durch das derzeitige Klimageschehen. Es ist daher als Teil der Grundlagenforschung ein unverzichtbarer Bestandteil in der Hochgebirgshydrologie und Klimafolgenforschung.

### Literatur

- Bernhardt, M., Härer, S., Jacobeit, J., Wetzel, K.-F., Schulz, K. (2014): Das Virtuelle Alpenobservatorium – Forschungsschwerpunkt alpine Hydrologie, *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 58, S. 241–243.
- Rapp, A., Wetzel, K.-F., Büttner, G., Scholz, M. (2010): Tracerhydrologische Untersuchungen am Partnach-Ursprung, *Hydrologie und Wasserwirtschaft* 54, S. 220–230.
- Wetzel, K.-F., Weishaupt, S. (2017): Monitoring and tracer-based hydrological investigations in the Partnach region, *Abstracts, VAO Symposium 2017*, Bolzano.

# Betrachtung des regionalen CO<sub>2</sub>-Haushalts auf Basis atmosphärischer Messreihen

## PROJEKTTEAM

- M.Sc. Esther Giemsa  
esther.giemsa@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2727
- Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
jucundus.jacobeit@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2662
- Dr. Ludwig Ries  
ludwig.ries@uba.de

## PROJEKTPARTNER

- Virtuelles Alpenobservatorium (VAO), Umweltforschungsstation Schneefernerhaus
- Umweltbundesamt (UBA), Plattform Zugspitze des Global Atmosphere Watch (GAW) Globalobservatorium Zugspitze/Hohenpeissenberg
- Leibniz Rechenzentrum (LRZ), Distributed Resources Group
- Alpine Environmental Data Analysis Centre (AlpEnDAC)
- Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt (DLR), Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) – Atmosphäre

## FINANZIERUNG

- Das Forschungsprojekt "Betrachtung des regionalen CO<sub>2</sub>-Haushalts auf Basis atmosphärischer Messreihen" wird als Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FKZ 3716512040 vom Umweltbundesamt finanziert und nutzt die IT-Infrastruktur des Alpine Environmental Data Analysis Centre.

## PROJEKTLAUFZEIT

- Januar 2017 – Juni 2018

## Worum geht es?

Das Klima unserer Erde wird von der Sonnenenergie gesteuert, die von der Erdoberfläche und der Atmosphäre absorbiert wird. Die Absorptionsrate der kurzwelligen solaren Ein- und langwelligen terrestrischen Ausstrahlung hängt maßgeblich von der atmosphärischen Konzentration und Zusammensetzung der klimawirksamen Spurengase ab. Durch anthropogene Emissionen werden diese derart verändert, dass sie den für das Leben auf der Erde notwendigen natürlichen Treibhauseffekt verstärken. Prominentester Vertreter der vom Menschen produzierten Treibhausgase ist das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Als beitragsstärkstes Klimagas ist es der Hauptverursacher der globalen Erwärmung, die seit Beginn der Industrialisierung ab dem Jahr 1750 den natürlichen Treibhauseffekt intensiviert (IPCC 2013).

Neben der anthropogenen Komponente, die insbesondere aus der Verbrennung fossiler Energieträger und Landnutzungsänderungen resultiert und den weltweit ansteigenden CO<sub>2</sub>-Trend verursacht, unterliegt der atmosphärische CO<sub>2</sub>-Gehalt von mittlerweile über 400 ppm (parts per million) der Saisonalität des biogenen Kohlenstoffkreislaufs. Das Zusammenspiel von Mensch und Biosphäre als Emittenten bzw. Absorber in Verbindung mit der langen atmosphärischen Verweilzeit des Kohlendioxids von durchschnittlich 120 Jahren verhindert, dass atmosphärische Messungen unmittelbar Auskunft über Änderungen



# Betrachtung des regionalen CO<sub>2</sub>-Haushalts auf Basis atmosphärischer Messreihen

der regionalen Emissionssituation geben können.

Erst aber die Kenntnis über regionale Emissionsstrukturen ermöglicht ein fundiertes Verständnis des regionalen CO<sub>2</sub>-Haushalts und damit die Abschätzung sich ändernder Quellbeiträge im Einzugsgebiet der Messstation. Um aus den hochpräzisen CO<sub>2</sub>-Messzeitreihen diese Größen klimapolitischer Dimension abzuleiten, auf deren Basis effiziente Emissionsminderungsmaßnahmen verifiziert und gegebenenfalls angepasst werden können, bedarf es daher einer differenzierten Aufschlüsselung der Messwerte nach ihrer Herkunft. Dazu werden die gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Relation zu den synoptisch-skalierten atmosphärischen Transportprozessen gesetzt, wodurch die Detektion von Quellen und Senken im Einzugsgebiet einer Messstation möglich ist. Besonders geeignet für diese Untersuchungen zur Quellherkunft des CO<sub>2</sub> sind hochgelegene Messstandorte hoher Repräsentativität wie etwa die Umweltforschungsstation Schneefernerhaus, die sich rund 300 m unterhalb des Zugspitzgipfels auf der Südseite von Deutschlands höchstem Berg befindet.

## Trajektorien der Dispersions- und Transportmodellierung

Detaillierte Einblicke in die Emissionssituation des Einzugsgebiets, die den hochpräzisen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der GAW-Globalstation Schneefernerhaus/Zugspitze zugrunde liegt, können Trajektorien geben. Trajektorien aus der Dispersions- und Transportmodellierung haben sich als zuverlässiges Werkzeug zur Untersuchung dynamischer Prozesse in der Atmosphäre auf der synoptischen Skala etabliert. Auf der Grundlage von meteorologischen Feldern numerischer Wettervorhersagemodelle verfolgen

sie die Bewegung eines Luftpakets in Raum und Zeit und lassen über die entstehenden Zugbahnen Strömungsmuster erkennen. Werden die Trajektorien ausgehend von einer Messstation rückwärts in der Zeit berechnet, geben sie Auskunft über die Transportwege und potentiellen Quellgebiete der detektierten Luftmassen. Rückwärts-trajektorien aus der Dispersions- und Transportmodellierung sind daher ein weit verbreitetes Werkzeug zur Quellbestimmung von gemessenen Spurengasen und Luftverunreinigungen.

Das beim norwegischen Institut für Atmosphärenforschung weiter entwickelte Lagrange'sche Partikeldispersionsmodell FLEXPART simuliert den meso- bis großskaligen Transport sowie die Diffusion von kleinen Luftvolumina in der Atmosphäre (Stohl et al. 2005) und dient in seinem Rückwärtsmodus der Zuordnung von Quellregionen. Die Grundlage der Partikeldispersionsrechnungen bilden die meteorologischen Felder eines numerischen Wettermodells. Da sich das Modell des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) als genaueste Rechenbasis in der Dispersionsmodellierung für europäische Untersuchungsgebiete etabliert hat, wird FLEXPART über den gesamten Untersuchungszeitraum der Jahre 2000 - 2015 mit den meteorologischen Feldern des ECMWF-Wettervorhersagemodells betrieben. Auf Basis dieser Meteorologiefelder werden die, am Startpunkt Zugspitze alle zwei Stunden entlassenen zehntausend Luftvolumina mit den spezifischen Tracer-eigenschaften des Kohlendioxids über zehn Tage hinweg rückverfolgt. Die zehntägigen Partikeltransportrechnungen bilden zusammen mit den zum jeweiligen Startzeitpunkt gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen die Grundlage



## Betrachtung des regionalen CO<sub>2</sub>-Haushalts auf Basis atmosphärischer Messreihen

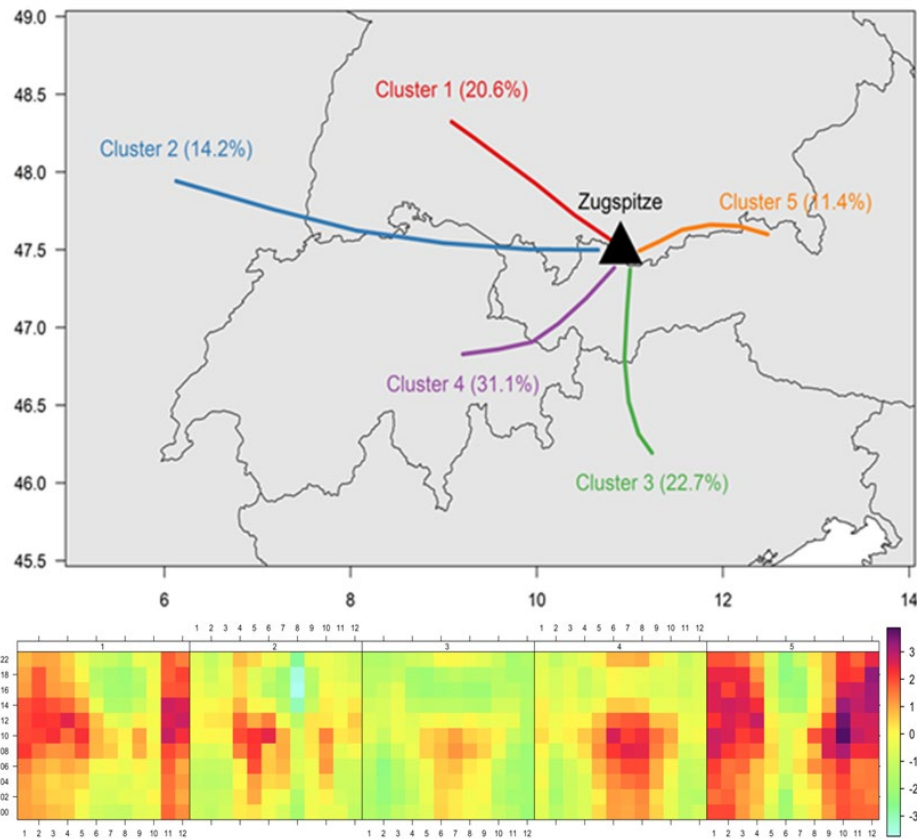


Abb. 1: Zentroidpfade (erste 12 Stunden rückwärts in der Zeit) der Clusteranalyse aller Luftmassen-Trajektorien, die zwischen 2000 und 2015 an der GAW-Globalstation Zugspitze/Schneefernerhaus (schwarzes Dreieck) eingetroffen sind, aus horizontaler Perspektive (oben) (relative Auftretshäufigkeiten der jeweiligen Cluster während des 16-jährigen Untersuchungszeitraums angegeben in %), inkl. des Tages- (Spalten) und Jahresgangs (Zeilen) des clusterspezifischen Einflusses auf die mittleren saison- und trendbereinigten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (in ppm) der Jahre 2000 – 2015 am Schneefernerhaus (unten, Teilabb. von links nach rechts für Cluster 1 bis 5)

# Betrachtung des regionalen CO<sub>2</sub>-Haushalts auf Basis atmosphärischer Messreihen

für die Herkunftsanalysen des klimawirksamen Gases an der Zugspitze.

Die Zuverlässigkeit der Dispersionsrechnungen für ihre Anwendung in Herkunftsanalysen ist jedoch durch Unsicherheitsfaktoren wie etwa die begrenzte Modellauflösung der meteorologischen Felder und die Parametrisierungen des Partikeltransportmodells eingeschränkt. Um diese Unzulänglichkeiten zu minimieren, werden die Rückwärtssimulationen der Partikeldispersion in einem ersten Schritt auf den Pfad ihrer Zentroide zusammengefasst. Unter der Prämisse, dass die Unsicherheiten gleichverteilt sind, bilden die Koordinaten der Zentroide die mittleren und damit am wenigsten fehlerhaften Transportpositionen der Partikelrückverfolgung ab.

## Clusteranalyse der Rückwärtstrajektorien

Demselben Prinzip der Reduktion von Modellunsicherheiten, mit denen die einzelnen Trajektorien behaftet sind, folgt das multivariate statistische Verfahren der Clusteranalyse (Brankov et al. 1998). Angewandt auf die zweistündlich berechneten Rückwärtstrajektorien der Jahre 2000 - 2015 identifiziert dieses strukturentdeckende Verfahren bedeutsame atmosphärische Transportmuster und relevante Quell- und Senkenregionen für die Kohlendioxidmessungen an der Zugspitze. Dazu werden die x-, y- und z-Koordinaten der Partikelrückverfolgung eingangs separat standardisiert, um eine gleiche Gewichtung der drei Dimensionen in der anschließenden Clusteranalyse sicherzustellen. Das Ergebnis der aussagekräftigsten Clusterungsvariante bildet schließlich die Pfade der Luftmassen auf ihrem Weg zum Rezeptor Umweltforschungsstation Schneefernerhaus mit größtmöglicher interner

Homogenität und zugleich stärkster Heterogenität zwischen den Clustern ab.

Die Cluster werden anschließend mit den zeitgleich gemessenen und um Saisonalität sowie langjährigen Trend bereinigten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Zugspitze verknüpft, um Auskünfte über das Zustandekommen der Kohlendioxidkonzentrationen an der Globalstation zu erlangen. Die Ergebnisse der Clusterung zeigen, dass die höchsten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (unter vorheriger Korrektur des Einflusses von Saisonalität und langjährigem Trend) im Winterhalbjahr bei nördlichen bzw. östlichen Anströmungsrichtungen detektiert werden. Im Sommer hingegen übernehmen Luftmassentransporte aus südwestlicher Richtung (aus der industriell geprägten Po-Ebene Italiens und der nordwestlichen Mittelmeerregion, die für ihre hitzebedingten Feuer zu dieser Jahreszeit bekannt ist) maßgeblich die Verursacherrolle hoher CO<sub>2</sub>-Messwerte an der Umweltforschungsstation (s. Abb. 1).

## Konzentrationsgewichtete Trajektorienfelder

Die zuvor beschriebene Methode der Trajektoriencluster lässt qualitative Rückschlüsse aus der Relation von Clustern der Rückwärtstrajektorien einer Messstation mit den zeitgleich am Startpunkt aufgezeichneten CO<sub>2</sub>-Messungen zu, wobei relevante Transportmuster identifiziert, nicht aber einzelne Quellen und Senken des Treibhausgases lokalisiert werden können (Apadula et al. 2003). Die Detektion geographischer Gebiete mit Einfluss auf die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen eines Standorts erfolgt über konzentrationsgewichtete Trajektorienfelder, welche wie zuvor die Clusteranalyse, die an der Messstation

## Betrachtung des regionalen CO<sub>2</sub>-Haushalts auf Basis atmosphärischer Messreihen

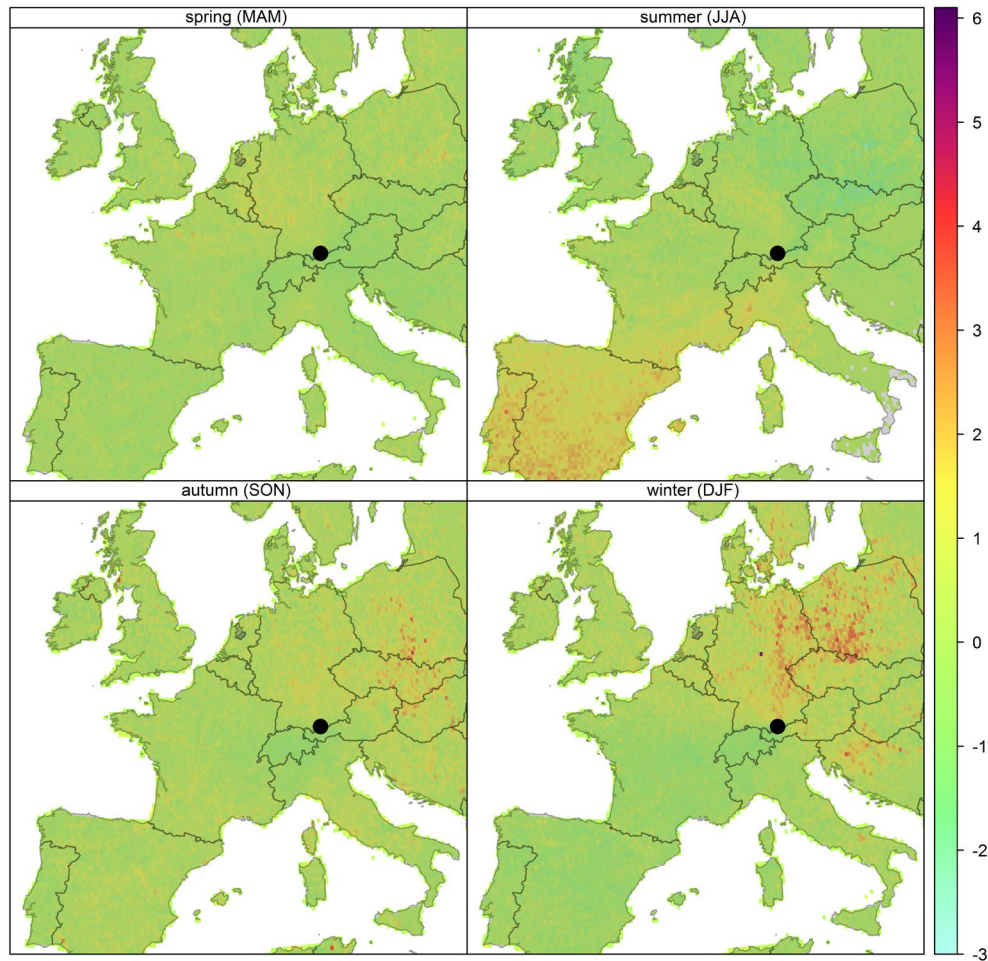


Abb. 2: Jahreszeitlich differenzierte Beiträge aus den farbig codierten Gitterzellen zu den saison- und trendbereinigten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die während des Untersuchungszeitraums 2000 – 2015 am Schneefernerhaus (schwarzer Punkt) gemessen wurden (in ppm)

## Betrachtung des regionalen CO<sub>2</sub>-Haushalts auf Basis atmosphärischer Messreihen

ankommenden Pfade atmosphärischer Luftmassen in Form von Rückwärtstrajektorien mit den zeitgleich gemessenen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen verknüpfen. In Erweiterung zur Clusterung der Rückwärtstrajektorien berücksichtigen konzentrationsgewichtete Trajektorienfelder die Aufenthaltsdauer der Luftpakete über geographischen Regionen im Vorfeld ihrer Ankunft und Aufzeichnung am Messstandort und fungieren nach Berücksichtigung der geringeren Aussagekraft schwach frequentierter Gitterzellen und einer zusätzlichen Korrektur entsprechend des Konzentrationsniveaus der Messwerte als zuverlässiger Indikator für die Wahrscheinlichkeit, dass eine bestimmte Region zu besonders hohen bzw. niedrigen CO<sub>2</sub>-Messergebnissen am Rezeptor Schneefernerhaus beiträgt (Carlaw & Ropkins 2012).

In den resultierenden konzentrationsgewichteten Trajektorienkarten für die saisonal separierten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Jahre 2000 - 2015 (s. Abb. 2) präzisieren sich die Ergebnisse der vorangegangenen Clusteranalyse, indem sich die zentrale Alpenregion - trotz der höchsten Trajektorienfrequentierung im Zuge einer alpinen Station als Rezeptor - über den gesamten Untersuchungszeitraum gemittelt als Kohlendioxidsenke darstellt, wohingegen potentielle Quellgebiete sowohl nordöstlich der Alpen als auch südwestlich davon verortet werden. Die sommerlichen Erhöhungen des Kohlendioxidlevels an der Zugspitze gehen demnach größtenteils auf die nordwestliche Mittelmeerregion zurück, in der zu dieser Jahreszeit häufig hitzebedingte Feuer entfachen, deren freigesetztes Kohlendioxid eine mögliche Ursache für die um durchschnittlich bis zu 4 ppm höheren CO<sub>2</sub>-Werte am Rezeptor der Umweltforschungsstation bei Luftmassentransport aus diesem Gebiet ist. In den Wintermonaten dagegen strömt

CO<sub>2</sub>-reiche Luft aus adverser Richtung zur Zugspitze, wonach Holz- und Kohlefeuerung aus Nordost-Europa als Hauptverursacher erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu dieser kalten Jahreszeit angesehen werden kann. Der Einfluss dieser Emittenten kündigt sich bereits im Herbst an und ist in seinem Beitrag in etwa mit den sommerlichen Quelleinträgen aus der spanischen und südfranzösischen Mittelmeerregion zu vergleichen.

### Ausblick

Die vorgestellte Methodik der CO<sub>2</sub>-Haushaltsbilanzierung wird im Laufe des Forschungsprojekts auf weitere (hoch-) alpine Messstationen (Jungfraujoch, Sonnblick, Plateau Rosa - s. Abb. 3) ausgeweitet, da jeder zusätzliche Rezeptor die Zuverlässigkeit des Verfahrens signifikant erhöht und sich gerade diese Untersuchungsregion durch hochqualitative wie repräsentative Messstandorte exponierter Lage auszeichnet. Dadurch gewinnt die Aussagekraft der inversen 'top-down'-Modellierung mit Hilfe von Trajektorien über dem Alpenraum als Kerngebiet sukzessive an Zuverlässigkeit und gewährleistet schließlich eine fundierte, messreihen-basierte Untersuchung des alpinen CO<sub>2</sub>-Haushalts auf der synoptischen Skala.

## Betrachtung des regionalen CO<sub>2</sub>-Haushalts auf Basis atmosphärischer Messreihen



Abb. 3: Karte der vier geplanten Rezeptor-Observatorien (blaue Dreiecke) für die messreihen-basierte CO<sub>2</sub>-Haushaltsbilanzierung des Alpenraums (definiert durch die Perimeter der Alpenkonvention in rot)

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013): Climate Change 2013 – The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*, New York, S. 1552.
- Stohl, A., Forster, C., Frank, A., Seibert, P., Wotawa, G. (2005): Technical note – The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 6.2, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 5, S. 2461-2474.

## Literatur

- Apadula, F., Gotti, A., Pignini, A., Longhetto, A., Rocchetti, F., Cassardo, C., Ferrarese, S., Forza, R. (2003): Localization of source and sink regions of carbon dioxide through the method of the synoptic air trajectory statistics, *Atmospheric Environment*, 37, S. 3757-3770.
- Brankov, E., Rao, S. T., Porter, P. S. (1998): A trajectory-clustering-correlation methodology for examining the long-range transport of air pollutants. *Atmospheric Environment*, 32, S. 1525-1534.
- Carslaw, D. C., Ropkins, K. (2012): openair – An R package for air quality data analysis. *Environmental Modelling & Software*, 27, 28, S. 52-61.



# Das Projekt ISOBEL - Integratives Geschiebemanagement an der oberen Iller

## PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Karl-Friedrich Wetzel  
wetzel@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2277
- Dr. Philipp Stojakowits  
philipp.stojakowits@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2717
- Dipl. Geogr. Wolfgang Merkel  
wolfgang.merkel@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2666
- Tobias Epple  
tobi\_epple@web.de  
Tel.: 0821 598 2666

## PROJEKTPARTNER

- Bayerische Elektrizitätswerke GmbH
- Fischereiverband Schwaben e.V.
- Aueninstitut Neuburg/Donau

## FÖRDERUNG

- LIFE Environment and Resource Efficiency project application, LIFE15 ENV/DE/000162

## PROJEKTLAUFZEIT

- Juli 2016 - Dezember 2019

## Worum geht es?

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL 2000) fordert die Erreichung des guten ökologischen Zustandes eines Flusswasserkörpers oder, bei stark anthropogen veränderten Flusswasserkörpern, die Erreichung des guten ökologischen Potentials (Patt et al. 2011). Die ökologische Situation wird in erster Linie anhand der gewässertypischen Fischfauna bewertet. Die Grundvoraussetzung zur Erreichung eines guten ökologischen Zustandes bzw. Potentials ist die Bereitstellung einer guten hydromorphologischen Situation, welche vor allem ihre Funktion als Habitat erfüllt. In zahlreichen staugeregelten Flüssen Mitteleuropas ist diese Grundvoraussetzung nicht erreicht, weshalb ein aktives Sediment- und Geschiebemanagement notwendig wird (vgl. DWA 2012). Bisher fehlen allerdings konkrete Handlungsempfehlungen, wie dies in der Praxis umzusetzen ist. Mit dem Projekt ISOBEL (Integrated SOLUTIONS for BEdLoad management) soll dieser Umstand verbessert werden.

An der oberen Iller werden von den Bayerischen Elektrizitätswerken (BEW) z.T. seit den 1930er Jahren fünf Laufwasserkraftwerke auch im Schwellbetrieb (Durchleitung von zuvor im Stauraum angesammelten Wassermengen) betrieben. Die Kraftwerkskette mit den Staustufen Altusried (4), Fluhmühle (5), Legau (6), Maria Steinbach (7) und Lautrach (8, vgl. Abb. 1) nutzt das natürliche Gefälle nicht vollständig aus. Vielmehr existieren unterhalb der Kraftwerke 4 bis 7 jeweils ca. 1 km lange Unterwasserabschnitte mit frei fließendem Wasser. Erst dann lässt der Rückstau der nächsten Staustufe die Fließgeschwindigkeit stark abnehmen. Für diese freien Fließstrecken soll im Rahmen der Illerstrategie das gute ökologische Poten-

# Das Projekt ISOBEL - Integratives Geschiebemanagement an der oberen Iller

tial durch Maßnahmen zur Verbesserung der hydromorphologischen Situation erreicht werden. Eine erste Maßnahme zur Verbesserung der ökologischen Situation war der Bau von Umgehungsgewässern, damit eine ungehinderte flussaufwärts gerichtete Wanderung der Fische zum Laichen gewährleistet ist. In weiteren Schritten sollen Laichhabitate und Lebensräume für Jungfische geschaffen werden, damit die heimische Fischfauna eine stabile, sich selbst regenerierende Population ausbilden kann.

Die Querbauwerke der Wasserkraftanlagen an der Iller verhindern die Verlagerung von Kies entlang des Flusslaufes (DWA 2015). Da die Fließgeschwindigkeit durch den Aufstau stark reduziert wird, kommt es auch im Hochwasserfall zur Ablagerung von Kies im Bereich der Stauwurzel (Ende des Aufstaubereichs). Dadurch fehlt der Iller nach der Passage einer Stauanlage der Kies, sodass dort eine verstärkte Erosion und Verlagerung des noch vorhandenen Kieses stattfindet. Als Folge sind die frei fließenden Unterwasserstrecken der Iller inzwischen weitgehend an Kies verarmt.

Lockere und sich in ständiger Umlagerung befindliche Kieskörper sind jedoch für eine intakte Ökologie von überragender Bedeutung (Brendelberger 2015). Im Kieslückensystem, dem sog. hyporheischen Interstitial, leben eine Fülle von Organismen, die im Nahrungsnetz des Gewässers eine große Bedeutung haben. Darüber hinaus ist der Kies für das Laichgeschäft vieler Fischarten notwendig, da die Fische ihren Laich in den Kies, z.B. durch das Schlagen von Laichgruben, einbringen. Die frisch geschlüpften Fischlarven finden im offenen Kieslückensystem nicht nur die entsprechende Nahrung, sondern auch

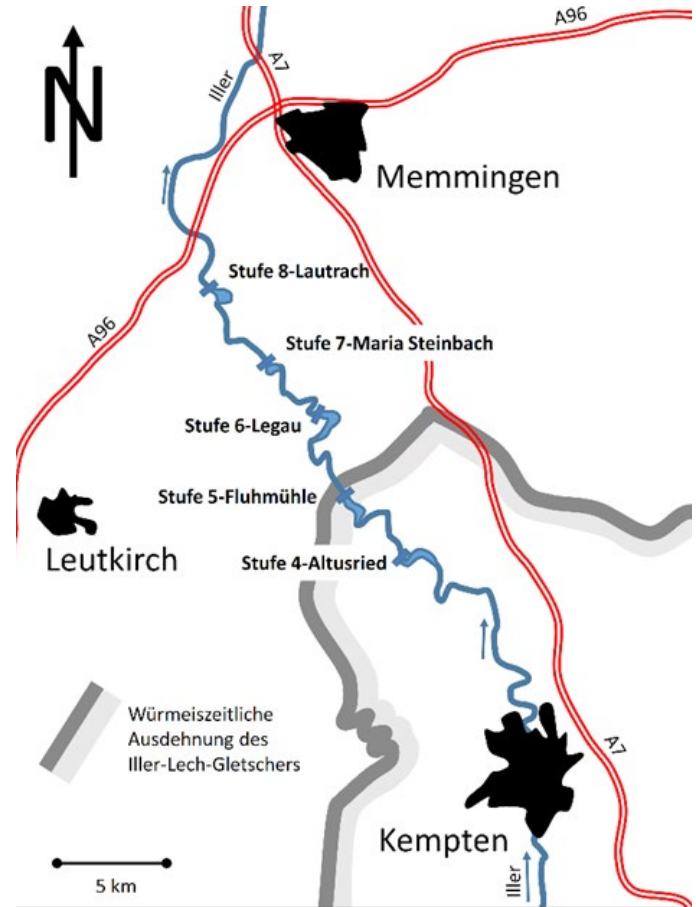


Abb. 1: Lage der Stautufen an der Iller nördlich von Kempten mit schematischer Darstellung der Ausdehnung der würemeiszeitlichen Vergletscherung (Tsigaridas et al. 2016)

# Das Projekt ISOBEL - Integratives Geschiebemanagement an der oberen Iller

Schutz vor Räubern und starker Strömung. Fehlt der Kies, ist eine wesentliche Voraussetzung für die Regeneration der Fischpopulation nicht mehr gegeben.

Darüber hinaus ist eine hydromorphologische Vielfalt für stabile Fischpopulationen in Fließgewässern von großer Bedeutung. Der zum Uferschutz über weite Strecken mit Flussbausteinen eingefasste Wasserkörper wirkt kanalarartig und zeigt ein einheitliches Strömungsbild. Naturnahe Ufer mit Flachwasserzonen und geringen Fließgeschwindigkeiten sowie Unterstände, die vor Räubern ausreichend Schutz bieten, sind insbesondere für heranwachsende

Jungfische von großem Belang. Vor allem aufgrund der hydromorphologischen Situation ist die Iller stark an den hier üblichen Fischarten verarmt. Nur durch den künstlichen Besatz mit Fischen ist heute noch ein nennenswerter Fischbestand in der Iller zu finden.

## Zielsetzung und Methoden

Das Ziel des Vorhabens ist es, in einem Demonstrationsvorhaben geeignete Lösungen für ein Geschiebemanagement umzusetzen, zu testen, zu optimieren und zu etablieren. Dabei soll das gute ökologische Potenzial des

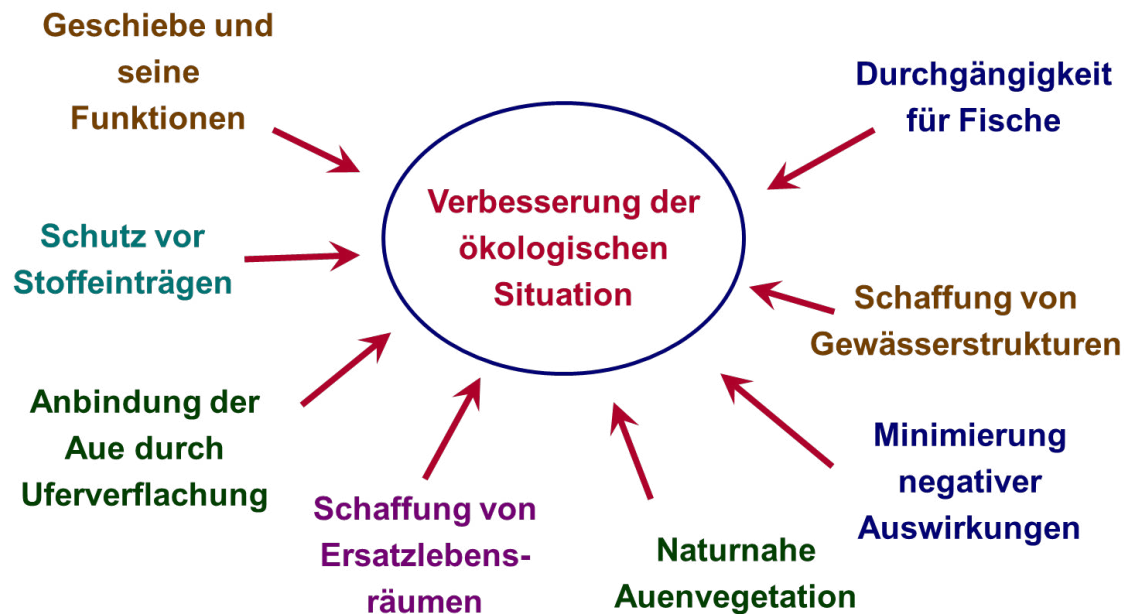


Abb. 2: Das zur Verbesserung der ökologischen Situation vorgesehene Maßnahmenbündel im ISOBEL-Projekt

# Das Projekt ISOBEL - Integratives Geschiebemanagement an der oberen Iller

Gewässers im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie realisiert und ein weitgehend sich selbst erhaltendes, ökologisches System innerhalb der Kette von Staustufen geschaffen und langfristig etabliert werden. Im Fokus der Maßnahmen steht dabei die, für die frei fließende Iller charakteristische rheophile (strömendes Gewässer bevorzugende) Fischfauna mit den Leitfischarten Äsche, Huchen und Nase, deren Lebensraum durch die Wasserkraftanlagen stark verändert wurde.

Die Verbesserung der ökologischen Situation soll nicht nur durch die Zugabe von Kies, sondern durch ein aufeinander abgestimmtes Bündel von Maßnahmen erreicht werden (vgl. Abb. 2). Die Geschiebezugaben sollen dabei in unterschiedlicher Form erfolgen. So wird in einer Unterwasserstrecke Kies in Form einer herkömmlichen Miete eingegeben. Der Kies verteilt sich dann im Unterwasser der Eingabestelle durch die Strömung der Iller ohne zusätzlicher Maßnahmen. An der Staustufe Legau wird der Kies flächendeckend eingebracht und durch Belegung mit Wasserbausteinen gesichert, die gleichzeitig für eine große Strömungsdiversität sorgen. Ziel dabei ist es, den Kies vor rascher Verlagerung zu schützen und gleichzeitig eine Kolmation des Kieskörpers (Ablagerung von Feinmaterial in das Lückensystem der Gewässerschale) zu verhindern. Eine ähnliche Wirkung sollen Lenkbuhnen unterhalb der Staustufe Maria Steinbach erzielen. Zwischen den Buhnen wird der Kies zurückgehalten, wobei eine Verlagerung innerhalb der Buhnenfelder die Kolmation verhindert. Ein intensives Monitoring der Kiesverlagerung und der Sohleigenschaften dient als Erfolgskontrolle. Eine weitere Unterwasserstrecke erhält auch heute noch eine Kieszufuhr durch ein Nebengewässer. Diese Unterwasserstrecke

dient aufgrund der befriedigenden ökologischen Situation als Referenz und wird zunächst sich selbst überlassen. Neben Uferabflachungen, der Schaffung von Gewässerstrukturen und einer Förderung der Auenentwicklung sollen die aufwendig gebauten Umgehungsgewässer an den Staustufen zu Ersatzlebensräumen und Laichhabitaten weiterentwickelt werden. Der Erfolg dieser Maßnahmen wird durch ein begleitendes fischökologisches Monitoring evaluiert. Alle Maßnahmen zusammen dienen dazu, in einem integrativen Ansatz die ökologische Situation an der Iller möglichst nachhaltig und selbsttragend zu verbessern.

## Durchführung und Ergebnisse

Aktuell (Herbst 2017) sind die Kieseingaben an der Iller abgeschlossen und die Uferabflachungen in Umsetzung (Abb. 3). Zuvor wurden die vier Unterwasserstrecken intensiv untersucht, um die durch die Kieszufuhr hervorgerufenen Veränderungen zu quantifizieren. Dabei wurden die Gewässerstruktur und die Sohlverhältnisse detailliert aufgenommen und dokumentiert. Das Makrozoobenthos, die Gesamtheit der Organismen an der Gewässersohle und im Kieslückensystem, wurde gemäß WRRL in allen vier Unterwasserstrecken beprobt. Damit besteht eine umfangreiche Datenbasis für die Erfolgskontrolle der Maßnahmen.

In den nächsten Monaten wird ein wohlkoordiniertes und intensives Messprogramm zum Monitoring des Kiestransportes durchgeführt. Dazu werden in Abständen von 25 m Querprofile der Iller vermessen und die Sohleigenschaften aufgenommen. Darüber hinaus wird mittels



## Das Projekt ISOBEL - Integratives Geschiebemanagement an der oberen Iller

wiederholter Befliegung mit einer Drohne bei Niedrigwasser der Zustand der Ufer und der Strömungsverhältnisse dokumentiert. Im Bereich der Bühnenfelder und der mit Wasserbausteinen belegten Sohle werden zusätzlich Strömungsmessungen durchgeführt. Darüber hinaus wird un-

tersucht, inwieweit eine Kolmation der Sohle stattfindet. Die Entwicklung des Makrozoobenthos benötigt etwas Zeit, so dass die nächsten Kontrollaufnahmen voraussichtlich im Frühjahr 2018 erfolgen werden.



Abb. 3: Kieseinbau im Unterwasser der Staustufe Maria-Steinbach (7) (Photo: Olaf König)



# Das Projekt ISOBEL - Integratives Geschiebemanagement an der oberen Iller

## Ausblick

Das intensive Monitoring des Geschiebemanagements wird zeigen, welche der Maßnahmen den größten Erfolg verspricht. Aufgrund der laufenden Überprüfung des Erfolges kann jederzeit eingegriffen und Verbesserungen können vorgenommen werden. Am Schluss des Prozesses sollen dann allgemein gültige Handlungsempfehlungen für ein Geschiebemanagement an großen Flüssen des Alpenvorlandes abgeleitet werden.

Das Geschiebemanagement in der Iller wird durch den Ausbau der Umgehungsgewässer zu Lebensräumen und Laichhabitaten ergänzt. Auch hier sollen mit Uferabflachungen Überflutungsflächen geschaffen werden, auf denen bei einer entsprechenden dynamischen Beaufschlagung der künstlichen Gewässer mit Wasser eine Auenentwicklung ermöglicht werden soll. Somit sollen sich die zunächst künstlich angelegten Gewässer zu naturnahen Ersatzlebensräumen weiterentwickeln. Dies ist insbesondere für die Jungfische von großer Bedeutung, da sie in diesen vergleichsweise kleinen Gewässern Schutz bei Hochwasser und vor Feinden finden. Auch hier sollen Handlungsempfehlungen für den Bau solcher Umgehungsgewässer entwickelt werden, welche auch die sich ändernden klimatischen Verhältnisse und ihre Auswirkungen auf die Gewässer berücksichtigen sollen.

## Literatur

- Brendelberger, H. (Hg.) (2015): *Grundwassergeprägte Lebensräume - eine Übersicht über Grundwasser, Quellen, das hyporheische Interstitial und weitere grundwassergeprägte Habitate*, Stuttgart: Schweizerbart.

- DWA (Hg.) (2012): *Sedimentmanagement in Fließgewässern – Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele*, Bad Hoenf: DWA Merkblatt DWA-M 525.
- DWA (Hg.) (2015): *Grundlagen morphodynamischer Phänomene in Fließgewässern*, Bad Hoenf: DWA Merkblatt DWA-M 526.
- EG-WRRL (2000): RICHTLINIE 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000, zuletzt geändert durch Richtlinie 2014/101/EU der Kommission vom 30. Oktober 2014.
- Patt, H., Jüring, P., Kraus, W. (2011): *Naturnaher Wasserbau. Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern*, Heidelberg: Springer.
- Tsigaridas, M., Merkel, W., Wetzel, K.-F. (2016): *Geschiebemanagement an der Iller – Vorstellung des gemeinsamen Projektes des Instituts für Geographie, Universität Augsburg und den Bayerischen Elektrizitätswerken, Beiträge zum 47. Jahrestreffen des Arbeitskreises Hydrologie vom 19.-21. November 2015, Dresden.*

# Streiflicht: Neues von der Uni-Heide – Beweidungsprojekt

## PROJEKTTEAM

- Dr. Maria Erhart  
maria.erhart@physik.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2915
- Dipl. Geogr. Ildikó Reményi-Vogt  
ildiko.remenyi-vogt@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3283
- PD Dr. Jens Soentgen  
jens.soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560
- Nicolas Liebig  
n.liebig@lpv-augsburg.de  
Tel.: 0821 324 6054
- Norbert Pantel  
n.pantel@lpv-augsburg.de  
Tel.: 0821/324-6094

## PROJEKTPARTNER

- Wissenschaftszentrum Umwelt (WZU)
- Didaktik der Biologie, Universität Augsburg
- CityFarm Augsburg
- Landschaftspflegeverband Stadt Augsburg e.V

Die Schafbeweidung am Lech beruht auf einer langen Tradition, welche die Entstehung der artenreichen Lechheiden begünstigte. Bis Mitte des 20. Jahrhunderts gehörte der Schäfer mit seinen Herden zum Landschaftsbild der regionalen Heideflächen. Vor allem die Lechauen zwischen Augsburg und Landsberg zählten zu den wichtigen Sommerweiden süddeutscher Wanderschäfer.

Dies beruhte auf den begrenzten Nutzungsmöglichkeiten der kargen Böden, die lediglich eine Beweidung mit Schafen zuließen. Hierfür wurde beispielsweise das Merinolandschaf eingesetzt, eine robuste Landschaftsrasse, die eine hohe Wollqualität liefert. Da in der Textilstadt Augsburg einer der bedeutsamsten süddeutschen Wollmärkte entstand, war der Bedarf an Wolle sehr hoch. Mitte des 19. Jahrhunderts wurden hier noch 110 Tonnen Schafwolle im Jahr gehandelt und verarbeitet, beispielsweise von der Augsburger Kammgarnspinnerei.

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts ging die Anzahl der Schäfer in Süddeutschland drastisch zurück. Dies resultierte einerseits aus den Billigimporten von Schaffleisch und Wolle, vorwiegend aus Neuseeland. Andererseits brach mit dem Ende der Textilindustrie in Augsburg die Schafwollnachfrage stark ein. Einige Plätze und Gebäude erzählen noch heute von Augsburg als einem Zentrum der Schäferei. Heute zieht nur noch der Wanderschäfer Hartl aus Mühlhausen mit seiner 500-köpfigen Mutterschafherde durch Augsburg.

An diese Tradition knüpfen die Kooperationspartner Wissenschaftszentrum Umwelt (WZU), Didaktik der Biologie, CityFarm Augsburg und Landschaftspflegeverband Augsburg (LPVA) nicht nur mit der Schaffung der Uni-Heide um das WZU, sondern auch mit der Beweidung der

## Streiflicht: Neues von der Uni-Heide – Beweidungsprojekt

Heidefläche an. Die Uni-Heide als „urbaner“ Lebensraum ähnelt den ursprünglichen Lechheiden: Sie erhielt bei ihrer Anlage 2013 eine „Saatgutimpfung“ mittels Mahdgutübertragung von verschiedenen lokalen Heideflächen und zwischendurch auch eine Samenübertragung durch Hände von Studierenden. Dadurch konnten sich zahlreiche typische und seltene Lechheide-Pflanzen, wie z.B. der Gekielte Lauch (*Allium carinatum*), das Zittergras (*Briza media*) und die Küchenschelle (*Pulsatilla vulgaris*) hier ansiedeln. Im Rahmen des Projekts „Weidestadt Augsburg“ (gefördert vom Bayerischen Naturschutzfond) des Landschaftspflegeverbands Augsburg wurde die Fläche 2017 erstmals



Abb. 1: Vier Ostpreußische Skudden auf der Uni-Heide am WZU

von vier Schafen beweidet (s. Abb. 1). Zum Einsatz kamen Ostpreußische Skudden von der CityFarm Augsburg. Bei Skudden handelt es sich um Deutschlands kleinste und eine der ältesten Schafrassen, die aufgrund ihrer Robustheit und Anspruchslosigkeit hervorragend für die Beweidung nährstoffarmer Standorte geeignet ist. Die Probebeweidung, die im Juni 2017 für eine Woche stattfand, soll seltene Pflanzen- und Tierarten schützen und fördern. Aufgrund ihres selektiven Fressverhaltens tragen Schafe zur Entwicklung eines reich strukturierten und artenreichen Lebensraumes bei. Maschinelle Pflege dagegen stört nicht nur die Lebensweise zahlreicher Lebewesen, sie belastet auch das Ökosystem mit öligen Rückständen und verdichtet den Boden. Zudem ist sie teurer, verbraucht mehr Ressourcen, erzeugt Lärm und Abgase.

Die Beweidung auf dem Campus begeisterte nicht nur Studierende und Beschäftigte der Universität, sondern auch Bewohner der Umgebung. Die Tiere verhielten sich zurückhaltend und gingen ihrer Tätigkeit nach. Die Uni-Heide wurde zur Beweidung in zwei Parzellen aufgeteilt und mit einem Elektro-Weidenetz eingezäunt. Als Unterstand diente den Schafen ein umgebauter Viehanhänger der CityFarm Augsburg. Es zeigte sich, dass vier Tiere der Aufgabe, in 7 Tagen die Fläche abzuweiden, nicht gewachsen waren. Daher wird 2018 die Weidezeit auf ca. 14 Tage ausgedehnt oder die Zahl der Tiere erhöht. Um die Auswirkungen der Beweidung auf die Flora zu überwachen, sollen jährlich ca. 2 Vegetationskartierungen auf der Uni-Heide durchgeführt und ausgewertet werden.

Die Schafe sind jedoch nicht nur im Sinne des Naturschutzes auf der Uni-Heide im Einsatz, auch in die Lehre werden sie eingebunden: Im Fachbereich der Didaktik der

## Streiflicht: Neues von der Uni-Heide – Beweidungsprojekt

Biologie wurde zum Aspekt „Schafe als Nutztiere“ eine Zulassungsarbeit vergeben. Im Rahmen dieser besuchte eine Schulklasse die Tiere vor Ort und testete die erarbeiteten Lernmaterialien.

Des Weiteren wird diese besondere Art von Landschaftspflege in Seminaren diskutiert und im Rahmen von Exkursionen werden wichtige lebensraumerhaltende Aktivitäten durchgeführt. So beteiligten sich in besonderem Maße Biologiestudierende auch aktiv an der Haltung und Pflege der Schafe. Für alle Interessierten wurde mit Studierenden ein Schaf-Infopoint eingerichtet. Auch die Presseresonanz

zeugte von regem Interesse an diesem kulturhistorisch und naturschutz-technisch bedeutsamen Pilotprojekt an einer deutschen Universität. Zum Pressetermin begrüßte Reiner Erben, Umweltreferent der Stadt Augsburg, den Ausbau innerstädtischer Beweidung auf dem Universitätsgelände (s. Abb. 2).

Über die tierische Heidepflege am WZU wurde nicht nur in lokalen Printmedien berichtet, sondern auch eine kurze Reportage im Fernsehen des Bayerischen Rundfunks ausgestrahlt.

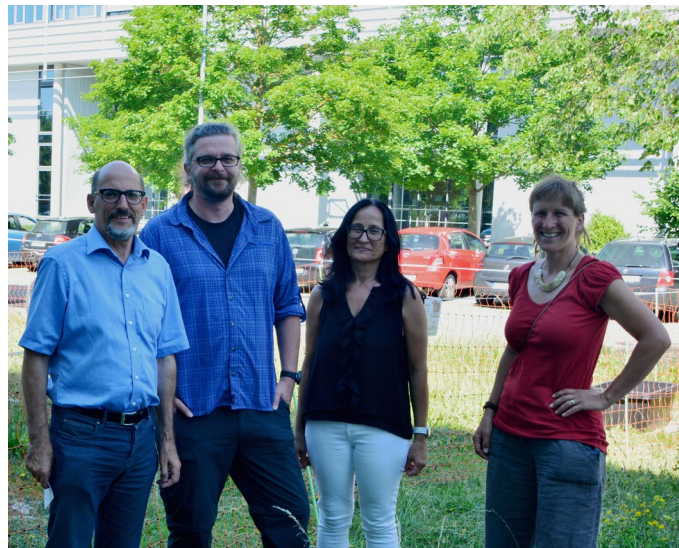


Abb. 2: V. l. n. r.: Reiner Erben (Umweltreferent d. Stadt Augsburg), Norbert Pantel (LPVA), Maria Erhart (Leiterin der Didaktik der Biologie) und Ildikó Reményi-Vogt (CityFarm und Didaktik der Biologie)

Die Beweidung stellte das erste Pflegeintervall der Uni-Heide 2017 dar. Nach Ende der Blütezeit musste die Fläche ein zweites Mal gepflegt und das Mahdgut abgeräumt werden. Zu diesem Anlass fand im Oktober ein Sensenlehrgang mit Studierenden der Didaktik der Biologie statt (s. Abb. 3). Auch Mitarbeiter des Wissenschaftszentrums Umwelt schwangen begeistert die Sense und hauchten der beinahe ausgestorbenen Kulturtechnik neues Leben ein. Ebenso wie bei einer Beweidung liegen die Vorteile für Natur und Mensch gegenüber einer maschinellen Pflege klar auf der Hand. Hinzu kommt der positive Effekt einer gesunden körperlichen Betätigung an der frischen Luft. Vor allem bei Menschen, die überwiegend in sitzender Position arbeiten, baut die Arbeit mit der Sense wieder die Rückenmuskulatur auf und beugt Bandscheibenschäden vor. Voraussetzung ist natürlich eine fachgerechte Bewegungsschulung durch einen ausgebildeten Sensenlehrer.

Für das kommende Sommersemester 2018 sind wieder zahlreiche Exkursionen und Aktionen mit Studierenden der Didaktik der Biologie und auch der Physischen Geo-



# Streiflicht: Neues von der Uni-Heide – Beweidungsprojekt

graphie rund um die Uni-Heide und den „tierischen Rasenmähern“ geplant. Wir laden Sie schon jetzt ein, im Juni 2018 die Uni-Heide und die „tierischen Landschaftspfleger“ zu besuchen.



Abb. 3: Studentinnen auf der Uni-Heide im Rahmen des Sensenlehrgangs

## Literatur

- Landschaftspflegeverband Stadt Augsburg e.V. (2017): *Weidestadt Augsburg*, <http://lpv-augsburg.de/landschaftspflege/weidestadt-augsburg/>.
- Skudden & Pommern (2013): *Landschaft mit Zukunft*, <http://www.schafzuchtverband.de/index.php?id=3>.
- Sensenverein Deutschland (o.J.): *Die Renaissance der Sense*, <http://www.sensenverein.de/node/33>.

# Streiflicht: Natur auf dem Campus

## PROJEKTTEAM

- PD Dr. Jens Soentgen  
soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560
- M.Sc. Reiner Schwandt  
reiner.schwandt@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3558
- Lena Griebshammer  
lena.griesshammer@presse.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2098
- Dr. Maria Erhart  
maria.erhart@physik.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2915
- Dipl. Geogr. Ildikó Reményi-Vogt  
ildiko.remenyi-vogt@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3283
- Prof. Dr. Arne Friedmann  
arne.friedmann@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2262
- Apl. Prof. Dr. Peter Roth  
peter.roth@kthf.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2645

Auch auf dem Campus der Universität Augsburg kann man naturkundliche Entdeckungen machen – hier gibt es eine überraschende Vielfalt an Pflanzen und Tieren, einige davon sehr selten und streng geschützt! Diese soll in unserem Projekt „Natur auf dem Campus“ sichtbar und erfahrbar gemacht werden – auch, um Bewusstsein für die Möglichkeiten zu schaffen, die wir haben, vor Ort, an der Universität selbst Lebensräume für Tiere und Pflanzen zu

schaffen, zu entwickeln und zu erhalten.

Aber ist das, was wir hier finden, überhaupt Natur? Bei dem Begriff Natur denken viele in erster Linie an Wälder, Seen, Flüsse oder auch Wiesen, die unangetastet von Menschen irgendwo weit weg zu besichtigen sind, in Nationalparks oder Naturschutzgebieten. Doch Natur findet nicht nur jenseits der Städte statt. Dank ihrer Dynamik und schnellen Anpassungsfähigkeit an Störungen, ist die Natur vielmehr im Stande sich auch in Siedlungsbereichen auszubreiten, neues Terrain zu erobern. Das Stadtgrün wird oft von Menschen kontrolliert und monotonisiert: typisch sind z.B. Vielschnittrasen in Parkanlagen oder zugeschnittene Thujahecken (*Thuja*), umgeben von diversen versiegelten Flächen. Solche Lebensräume sind für ihre niedrige Biodiversität von Flora und Fauna bekannt, da z.B. viele Insekten wie auch Säugetiere durch die immer wiederkehrenden Störungen wirksam verdrängt werden. An Standorten, die weniger durch beharrliche Pflegemaßnahmen und Ordnungseifer belastet sind, können sich Pflanzengemeinschaften ansiedeln, die je nach vorherrschenden Standorteinflüssen sogar sehr artenreich sein und wiederum einen Lebensraum und -grundlage für andere Klein- und Großtiere bieten können.

In Städten gibt es etliche besondere stadttökologische Standortfaktoren und Einflüsse, an welche sich Flora als auch Fauna anpassen müssen. Stadtböden sind vielerorts entweder versiegelt (Asphalt, Pflaster, Gebäude etc.) oder stark verdichtet, was einerseits den Lebensraum für Tiere und Pflanzen drastisch verkleinert und andererseits den Boden für etliche unterirdische Kleintiere unzugänglich werden lässt. Zudem kommt es durch die erwähnte Versiegelung im Vergleich zum Umland zu Veränderungen im Wärmehaushalt, was unter anderem zu einer stärkeren



## Streiflicht: Natur auf dem Campus

Erwärmung urbaner Flächen führt. Ebenfalls das Stadtklima prägend ist die durchgehende Belastung durch Luftschadstoffe. Darüber hinaus ist auch der Wasserhaushalt beeinträchtigt (viel rascherer Oberflächenabfluss auf versiegelten Flächen und verringerte Verdunstung) und Gewässer sind in ihrer natürlichen Ausbreitung durch Begründungsmaßnahmen eingegrenzt.

Folglich finden wir in Siedlungsbereichen ein vielfältiges Mosaik verschiedener Lebensräume. Die Übergänge zwischen den Lebensräumen bewirken, dass sich auf vergleichsweise kleinem Raum für die Natur untypische Lebensraumkonstellationen entwickeln konnten, die von einer Vielzahl von Lebewesen bewohnt werden. In Kombination mit dem seit der Industrialisierung zunehmenden Handel, der dazu führt, dass auch ortsfremde Pflanzen und Tiere ihren Weg auf urbane Umschlagplätze finden und sich von dort aus ausbreiten, stellen Siedlungsräume sogenannte „Melting Pots“, Schmelztiegel der Biodiversität dar und weisen zumeist eine höhere Artenvielfalt als das Umland auf. Was freilich auch daran liegt, dass die Natur „auf dem Land“ aufgrund intensiver Landwirtschaft recht eintönig geworden ist.

Vor diesem Hintergrund haben wir das Ziel, einen Naturführer für den Campus zu erstellen, weil unser Campus ebenfalls solch ein „Melting Pot“ ist. Ganz nach dem Prinzip - global denken, lokal handeln - der durch die UN einberufenen Agenda 21, wollen wir mit diesem Naturführer auf die lokalen Lebewesen (Flora sowie Fauna) des Campus aufmerksam machen und diese dokumentieren. Die nichtmenschlichen Lebensgemeinschaften unter freiem Himmel, zwischen denen Lehre und Forschung stattfinden, sind unser Fokus. Die Motivation hierfür ist eine naturschutzfachliche Prämisse - man kann nur schützen, was man kennt. Denn gemäß der Biodiversitätsstrategie der Bayerischen Staatsregierung soll gerade die Biodiversität auf öffentlichen Flächen gefördert werden. Dies aber ist nur möglich, wenn sie dokumentiert ist. Weil der Erhalt und die Förderung der Biodiversität ein zentrales Element jeder Nachhaltigkeitsstrategie ist, soll unser Projekt zu mehr Nachhaltigkeit an der Universität beitragen. Auf dem Campus der Universität Augsburg bietet sich dies umso mehr an, da die Gesamtfläche und der Grünanteil verglichen mit herkömmlichen Stadtgebieten relativ weitläufig und vielfältig ist. So finden wir auf der einen



Abb. 1: Exemplarische Vertreter der Fauna am Campus v. l. n. r.: Hauhechel-Bläuling (*Polyommatus icarus*), die Teichschildkröte, Wespenspinne (*Argiope bruennichi*), die Campuscat und ein Hufeisenklee-Widderchen (*Zygaena transalpina*) auf einer Wiesen-Witwenblume (*Knautia arvensis*)

## Streiflicht: Natur auf dem Campus

Seite für das Stadtgrün exemplarische, ziemlich monotone Lebensräume wie Vielschnittwiesen und Strauchformationen. Auf der anderen Seite gibt es aber auch eher untypische Lebensräume wie z.B. den Universitätsteich und das dazugehörige Ufer mitsamt Verlandungszonen oder auch die Uni-Heide (vgl. Beitrag „Streiflicht: Neues von der Uni-Heide – Beweidungsprojekt“ auf Seite 88). Nicht zuletzt existieren auf unserem Campus hochinteressante Mikro-Lebensräume, die häufig übersehen werden. Dazu gehören z.B. Pflasterritzen, Dächer, Schutt, Gleise und Parkplätze. Gerade hier findet man oft sehr interessante Pflanzen, Überlebenskünstler, die nicht selten, wenn man sie genauer anschaut, eindrucksvoll schön sind. Die Abbildungen 1 bis 3 sollen exemplarisch die Vielseitigkeit der pflanzlichen und tierischen Bewohner der aufgezählten Lebensräume darstellen.

Der Naturführer für den Campus soll zunächst in digitaler Form als Internetseite entstehen. Dies soll gewährleisten, dass die Informationen für alle Interessierten möglichst zugänglich und Aktualisierungen bzw. Erweiterungen der Inhalte jederzeit möglich sind. Wir hoffen darauf, weiterhin von Studierenden und Mitarbeitern, wie bereits viel-

fach geschehen, Bilder von interessanten Blumen oder Tieren zu erhalten, und diese dann, ggf. mit Erläuterungen versehen auf unserem Naturführer zu präsentieren. Die Zielgruppe unseres Vorhabens sind Studenten, Mitarbeiter, Besucher, Naturinteressierte und die Öffentlichkeit. Dabei liegt es uns am Herzen, eine so große und vielfältige Auswahl der ‚Campusbewohner‘ wie nur möglich auf der Internetseite zusammenzubringen. Neben Beschreibungen der einzelnen Lebensräume sollen auch Informationen zu den einzelnen Spezies präsentiert werden, egal ob es sich dabei um besondere Kräuter, Bäume, Sträucher, Vögel, Insekten oder auch Hasen handelt. Idealerweise erhalten alle vorgestellten Arten eine Fotografie zur Veranschaulichung. Für die Darstellung der vorkommenden Pflanzenarten sollen die Daten der im Jahr 2016 durchgeführten Vegetationskartierung, die durch Prof. Dr. Arne Friedmann aus der Arbeitsgruppe Biogeographie am Lehrstuhl für Physische Geographie und Quantitative Methoden angeregt wurde, genutzt werden. Darüber hinaus werden die Inhalte des Naturführers durch unsere Beobachtung der Natur immer wieder erweitert. Dazu sind auch alle interessierten Campusbesucher mit eingeladen,



Abb. 2: Exemplarische Vertreter der Flora am Campus v. l. n. r.: Gold-Fetthenne (*Sedum floriferum*), Topinambur (*Helianthus tuberosus*), Winterlinge (*Eranthis hyemalis*), Weiße Seerose (*Nymphaea alba*) und der Natternkopf (*Echium vulgare*)

## Streiflicht: Natur auf dem Campus



*Abb. 3: Auch Feldhasen leben auf dem Campus, hier ist einer gut geduckt in seiner Sasse – sehen Sie ihn?*

denn je mehr Involvierte mitmachen, desto höher ist auch die Chance eine größere Vielfalt der Lebewesen zu erfassen. Aus diesem Grund freuen wir uns über jegliche Fotos, Hinweise und Information seitens der Universitätsbesucher. Der Campus-Naturführer soll in der ersten Jahreshälfte 2018 online gehen – zunächst in einer Basisversion, die dann Schritt für Schritt erweitert werden soll.

### Literatur

- Pfeuffer, E. (2012): *Natur in Augsburg*, Augsburg: Wißner-Verlag.
- Schwandt, R. (2017): *Die Vegetation und Flora des Universitätscampus in Augsburg: Kartierung und naturschutzfachliche Bewertung*. Masterarbeit am Lehrstuhl für Physische Geographie und Quantitative Methoden.



## ENVIRONMENTAL HUMANITIES

- 97 Geschichte der Nachhaltigkeit(en). Diskurse und Praktiken seit den 1970er Jahren
- 101 Fracking-Diskurs in Deutschland, Polen und Frankreich

# Geschichte der Nachhaltigkeit(en).

## Diskurse und Praktiken seit den 1970er Jahren

### PROJEKTTEAM

- M. A. Karen Froitzheim  
karen.froitzheim@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3569
- M. A. Nadja Hendriks  
nadja.hendriks@philhist.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3569
- Prof. Dr. Marita Krauss  
marita.krauss@philhist.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 5643
- Prof. Dr. Elke Seefried  
seefried@ifz-muenchen.de  
Tel.: 089 12688 139
- PD Dr. Jens Soentgen  
soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560

### PROJEKTPARTNER

- Institut für Zeitgeschichten München – Berlin (IfZ)
- Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)
- Herder-Institut für historische Ostmitteleuropaforschung (HI)
- Rachel Carson Center for Environment and Society der LMU München (RCC)

### FÖRDERUNG

- Leibniz-Wettbewerbsverfahren (SAW)

### PROJEKTLAUFZEIT

- Juli 2017 - Juni 2020

### Worum geht es?

Nur wenige Schlagworte sind in den letzten Jahrzehnten stärker rezipiert worden als das der Nachhaltigkeit. Häufig wird Nachhaltigkeit dabei als sogenanntes Drei-Säulen-Modell (s. Abb. 1) definiert, das gleichberechtigt die drei Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales umfasst (Spindler 2012, Pufé 2012). Zunehmend kritisch reflektieren wissenschaftliche Arbeiten jedoch insbesondere die damit einhergehenden „Verflachungstendenzen“ des Konzepts (Soentgen 2016). In der Forschung entwickelte sich in den vergangenen Jahren eine Kontroverse um die Frage der Gewichtung der einzelnen Dimensionen, häufig unter dem Verweis auf das „Primat der Ökologie“ und die Notwendigkeit einer intakten Umwelt als Lebensgrundlage der Menschheit (von Hauff & Kleine 2009). Nachhaltigkeit steht durch die Idee der Generationengerechtigkeit und durch die dynamische Entwicklung der Begriffsverwendung überdies in engster Beziehung zum Faktor Zeit. Dies ist zu reflektieren.

### Zielsetzung und Methoden

Trotz der heutigen Omnipräsenz des Begriffs der Nachhaltigkeit (Rödel 2013, von Detten 2013, Seefried 2015) mangelt es jedoch an genauer Kenntnis seiner zeithistorischen Entwicklung, Bedeutungsdimensionen und diskursiven Funktionen. Diese Kenntnis ist indes für das Verständnis aktueller Umwelt-, Ressourcen- und Entwicklungsdiskussionen essenziell. Das im Rahmen des Wettbewerbsverfahrens der Leibniz-Gemeinschaft (SAW) bewilligte Projekt „Geschichte der Nachhaltigkeit(en)“ zielt daher darauf ab, Diskurse über „Nachhaltigkeit“ und entsprechende soziale Praktiken seit den 1970er Jahren

# Geschichte der Nachhaltigkeit(en).

## Diskurse und Praktiken seit den 1970er Jahren

zu analysieren. Im Zentrum stehen Bedeutungsdimensionen, innere Spannungsfelder und Instrumentalisierungen des Begriffs und damit die Frage, welche Ordnungsmuster, Zielsetzungen und Interessen sich mit Diskursen um Nachhaltigkeit und korrespondierenden Praktiken in Politik, Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft verbanden.

Das vom Institut für Zeitgeschichte München–Berlin (IfZ) koordinierte Verbundprojekt verkoppelt die Untersuchung der globalen Dimension von „Nachhaltigkeit“ (auf der Ebene der Vereinten Nationen) mit transnationalen und vergleichend angelegten nationalen Perspektiven (im Zentrum stehen die Bundesrepublik, Großbritannien und Polen) und dem Blick auf die lokale Ebene. Es baut auf vorliegenden Forschungen zu Nachhaltigkeitsverständnissen

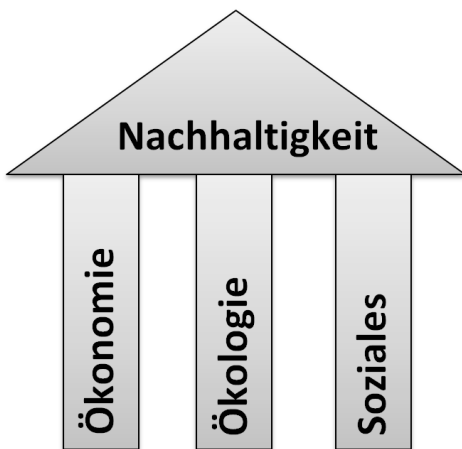


Abb. 1: Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit

des 18. und 19. Jahrhunderts auf und konzentriert sich auf jene Phase, in der sich der Begriff aus dem forstwirtschaftlichen Kontext löste, in unterschiedliche Kontexte diffundierte und für verschiedenste Zielsetzungen genutzt wurde.

An diesem Verbundprojekt sind, neben dem Wissenschaftszentrum Umwelt, dem Lehrstuhl für Europäische Regionalgeschichte/Bayerische und Schwäbische Landesgeschichte der Universität Augsburg und dem IfZ, das Herder-Institut für historische Ostmitteleuropaforschung/Institut der Leibniz-Gemeinschaft (Marburg), das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung und das Rachel-Carson-Center an der LMU beteiligt.

Die Einzelprojekte umfassen eine Begriffsgeschichte der Nachhaltigkeit, ein Postdoc-Projekt zu ökologischen Leitbildern in der bundesdeutschen und britischen Energiepolitik, ein Dissertationsprojekt zur Entstehung der internationalen Klimapolitik (alles IfZ) sowie ein Projekt über Nachhaltigkeit in Polen, das am Herder-Institut für historische Ostmitteleuropaforschung bearbeitet wird. Hinzu kommen zwei Teilprojekte an der Universität Augsburg, die näher aufgeführt werden sollen. Das Teilprojekt „'Global denken – lokal handeln.' Nachhaltigkeit(en) auf lokaler Ebene“ (Lehrstuhl für Europäische Regionalgeschichte/Bayerische und Schwäbische Landesgeschichte/WZU) hat zum Ziel, den global ausgelegten Nachhaltigkeitsbegriff der Vereinten Nationen (UN) in einem mikrogeschichtlichen Zugriff auf der lokalen Handlungsebene zu untersuchen. Im Mittelpunkt steht dabei die im Jahr 1992 auf der UN-Konferenz in Rio de Janeiro verabschiedete Agenda 21. Hier riefen die Vereinten Nationen Städte



## Geschichte der Nachhaltigkeit(en). Diskurse und Praktiken seit den 1970er Jahren

und Gemeinden weltweit dazu auf, nachhaltige Entwicklung durchzusetzen. Das in vielfältigen Kontexten bemühte Motto „Global denken, lokal handeln“ sollte nun auch auf der Ebene der Kommunalpolitik wirksam werden. In Deutschland war der daran anschließende Agendaprozess in höherem Maße basisorientiert als in anderen Ländern (Heinelt & Mühlich 2000, Rösler 2002, Schwarz 2002). Dabei ist zu klären, inwiefern Agendaaktivitäten auf Diskussionen der 1970er und 1980er Jahre Bezug nahmen. Anhand ausgewählter Städte und Gemeinden in Bayern wird daher im Rahmen des Teilprojektes gefragt, welche Rolle das Leitbild der Nachhaltigkeit für kommunale Gebietskörperschaften vom Ende der 1960er Jahre bis in die 2000er Jahre hatte. Von besonderem Interesse ist hier wie kommunale Träger, Verbände, Parteien und örtliche Medien, lokale Naturschutz- und Heimatpflegeakteure, Umwelt- und Bürgerinitiativen (Hasenöhl 2011) agierten. Welche Rolle spielten zivilgesellschaftliche Akteure und Initiativen „von unten“ (Brand 2002, Kern 2008, Rucht 1994) und welche Themen wurden als nachhaltig diskutiert, gedeutet und genutzt? Die Entstehung und Verwendung des Konzepts Nachhaltigkeit auf lokaler Ebene soll in Bezug zu nationalen und weltweiten Prozessen gesetzt werden, wie sie beispielsweise vom International Council for Local Environmental Initiatives, kurz ICLEI, dokumentiert wurden. Die historische Tiefendimension des Nachhaltigkeitsbegriffes wird hierbei anhand von Akten aus Staats-, Stadt- und Gemeindearchiven und mittels Interviews herausgearbeitet.

Das Teilprojekt „Nachhaltigkeit in Unternehmen – Konzepte, Praktiken, Spannungsfelder“ (WZU) konzentriert sich auf multinationale Unternehmen aus mehreren

Branchen und Ländern. Als vielschichtiges, internationales Konzept mit einer ökonomischen Dimension berührt Nachhaltigkeit den Wirkungsraum von Unternehmen existentiell – ein Umstand, der sich nicht zuletzt in der Fülle an Managementliteratur zur Thematik offenbart, aber auch in der zum Teil unter dem Begriff „Greenwashing“ kritisierten öffentlichkeitswirksamen Unternehmenskommunikation zu vermeintlich nachhaltigen Praktiken und Strategien (Rödel 2013, Pufé 2012). Dabei tangiert das Konzept in besonderem Maß multinationale Unternehmen. Zum einen nehmen sie aufgrund ihrer strukturellen Beschaffenheit und Finanzkraft häufig eine Vorreiterrolle ein, zum anderen stehen sie – auch im Rahmen allgemeiner Globalisierungskritik – unter besonderer Beobachtung. Auch die Forschung verweist darauf, dass Nachhaltigkeit im Nachgang der entsprechenden internationalen politischen Konferenzen als Verantwortungskonzept von Unternehmen diskutiert wurde (Nuhn 2013). Mithilfe von leitfadengestützten Interviews sowie Archivstudien soll herausgearbeitet werden, wie insbesondere in den 1990er und 2000er Jahren Nachhaltigkeitskriterien entwickelt, umgesetzt, kommuniziert oder inszeniert wurden. Im Zentrum steht dabei die Frage, inwiefern das, spätestens mit der Rio-Konferenz 1992 zum internationalen Politikleitbild erhobene Konzept „Nachhaltigkeit“ auch als genuin internationales Unternehmensleitbild gelten darf oder ob Unternehmen weiterhin stark von ihren nationalen und kulturellen Hintergründen determiniert sind.

# Geschichte der Nachhaltigkeit(en).

## Diskurse und Praktiken seit den 1970er Jahren

### Literatur

- Brand, K. W. (2002): *Politik der Nachhaltigkeit. Voraussetzungen, Probleme, Chancen - eine kritische Diskussion*, Edition Sigma: Berlin.
- Hasenöhl, U. (2011): *Zivilgesellschaft und Protest. Eine Geschichte der Naturschutz- und Umweltbewegung in Bayern 1945-1984*, Göttingen: Verlag.
- Heinelt, H., Mühlich, E. (Hg.) (2000): *Lokale „Agenda 21“-Prozesse. Erklärungsansätze, Konzepte und Ergebnisse*, Opladen: Leske & Budrich.
- Kern, T. (2008): *Soziale Bewegungen. Ursachen, Wirkungen, Mechanismen*, Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Lotz, C. (2015): Expanding the Space for Future Resource Management. Explorations of the Timber Frontier in Northern Europe and the Rescaling of Sustainability during the 19th Century, *Environment and History* 21 (2015), S. 257–279.
- Nuhn, I. (2013): *Entwicklungslinien betrieblicher Nachhaltigkeit nach 1945. Ein deutsch-niederländischer Unternehmensvergleich*, Münster: Waxmann.
- Pufé, I. (2012): *Nachhaltigkeitsmanagement*, München: Carl Hanser Verlag.
- Rödel, M. (2013): Die Invasion der ‚Nachhaltigkeit‘. Eine linguistische Analyse eines politischen und ökonomischen Modewortes, *Deutsche Sprache* 2, S. 115–142.
- Rösler, C. (2002): *Lokale Agenda 21 und nachhaltige Entwicklung in deutschen Kommunen*, Berlin.
- Rucht, D. (1994): *Modernisierung und neue soziale Bewegungen. Deutschland, Frankreich und USA im Vergleich*, Frankfurt a. M.: Campus Verlag.
- Schwarz, G. (2002): *Bürgerbeteiligung in lokalen Agenda-21-Prozessen – eine Bestandsaufnahme. Diskussionspapiere aus der Fakultät für Sozialwissenschaft der Ruhr-Universität Bochum*, Bochum.
- Seefried, E. (2015): Rethinking Progress. On the Origin of the modern Sustainability Discourse, *Journal of Modern European History* 13 (3), S. 377-400.
- Soentgen, J. (2016): Nachhaltigkeit als Nießbrauch. Das römische Rechtsinstitut des usus fructus und seine systematische Bedeutung für das Konzept der nachhaltigen Nutzung, *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society* 25 (2), S. 117-125.
- Spindler, E. A. (2012): *Geschichte der Nachhaltigkeit. Vom Werden und Wirken eines beliebten Begriffes*, <https://www.nachhaltigkeit.info/media/1326279587phpeJPvC.pdf>.
- Von Detten, R. (2013): Einer für alles? Zur Karriere und zum Missbrauch des Nachhaltigkeitsbegriffs, in: Füsslein, D. (Hg.): *Die Erfindung der Nachhaltigkeit: Leben, Werk und Wirkung des Hans Carl von Carlowitz*, München: oekom verlag, S. 111-125.
- Von Hauff, M., Kleine, A. (2009): *Nachhaltige Entwicklung. Grundlagen und Umsetzung*, München: Oldenbourg.

# Fracking-Diskurs in Deutschland, Polen und Frankreich

## PROJEKTTEAM

- Prof. Dr. Reiner Keller  
reiner.keller@phil.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 4095
- M. A. Matthias Sebastian Klaes  
matthias.sebastian.klaes@phil.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 5553
- M. A. Simone Lackerbauer  
simone.lackerbauer@phil.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 4072
- M. A. Claudia Foltyn  
claudia.foltyn@phil.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 4073

## FÖRDERUNG

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unter dem Geschäftszeichen KE 1608/11-1

## PROJEKTLAUFZEIT

- Juni 2017 bis September 2020

## Eine vergleichende Analyse zur Rolle von ökologischen Rechtfertigungsordnungen und Civic Epistemologies in aktuellen Risikokonflikten

### Worum geht es?

Das vorgestellte Projekt untersucht in vergleichender Perspektive aktuelle Risikokonflikte um den Einsatz von Hydraulic Fracturing (Fracking) in Frankreich, Deutschland und Polen. Fracking bezeichnet ein Verfahren, das insbesondere im Hinblick auf die Förderung unkonventioneller Erdgasressourcen diskutiert wird. Konkret wird dabei nach einer tiefen horizontalen Gesteinsbohrung ein Gemisch aus Wasser, Sand und Chemikalien unter hohem Druck in die Bohrschächte gepresst. Dadurch werden Risse in den Gesteinsschichten erzeugt und die darin gebundenen Gas- und Ölreserven freigesetzt (UBA 2011, 2014). Hydraulic Fracturing ist in allen drei Untersuchungsländern Gegenstand öffentlicher Kontroversen, die gekennzeichnet sind von komplexen Konstellationen aus Expertisen und Gegenexpertisen. Dabei bestehen überall vergleichbare Argumentationsgefüge: Unternehmen interessieren sich für die Gewinnpotentiale der Technologie, Regierungen für die dadurch versprochenen Lösungen von Energieversorgungsproblemen im Rahmen des Umbaus der Energiesysteme. Gegner der Verfahren betonen unabsehbare ökologische Schäden. Aus dieser Konstellation resultieren jedoch sehr unterschiedliche nationale Umgangsweisen. Während in Frankreich ein Moratorium bezüglich des Einsatzes von Fracking besteht, erscheint die Bedeutung des

# Fracking-Diskurs in Deutschland, Polen und Frankreich

Verfahrens für Deutschland nach wie vor unklar. Polen setzt seit längerem auf die Nutzung der Technologie. Vor diesem Hintergrund befasst sich das Projekt im Kern mit der Frage, wie sich die genannten nationalen Unterschiede im Umgang mit Hydraulic Fracturing trotz ähnlicher Konfliktkonstellationen verstehen und erklären lassen. In Abb. 1 wird eine Übersichtskarte Europas mitsamt dem politischen Status von Hydraulic Fracturing und vergangenen Protestaktivitäten dargestellt.

## Zielsetzung und Methoden

Ausgehend von einem risikosozologisch und diskursanalytisch ansetzenden Forschungsdesign (vgl. Keller 2011) werden die Akteure, Arenen und Verlaufsformen der Auseinandersetzung um Fracking auf der nationalstaatlichen Ebene untersucht, sowie die Dimensionen und Konfliktverläufe vergleichend analysiert. Ein besonderer Fokus richtet sich dabei auf Akteure, Formen und Prozesse der Prüfung und Bewertung von Risiken und Gefährdungs-

## Mad About Fracking

### Fracking policies and protest sites

- Active licenses
- Fracking banned or licensing suspended
- No fracking activity
- ✱ Countries where major fracking protests have occurred



Abb. 1.: Übersicht über die Konflikte und den politischen Status von Hydraulic Fracturing in Europa (Bloomberg Intelligence, 2016)

# Fracking-Diskurs in Deutschland, Polen und Frankreich



Abb. 2: Vielerorts wird über Fracking gestritten; nicht nur in Europa, sondern auch in Kanada.

gen, welche mit dem Fracking Verfahren potentiell verbunden sind. Auf diese Weise soll die Untersuchung einen Beitrag zu einem differenzierten wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Verständnis aktueller Konflikt dynamiken unter den Bedingungen einer transformativen Energiepolitik leisten.

## Durchführung und Ausblick

Im Rahmen der Untersuchung werden umfangreiche Analysen zentraler Dokumente (Medienberichte, Expertengutachten, Stellungnahmen etc.) vorgenommen und durch Leit fadeninterviews mit Schlüsselakteuren der jeweils länderspezifischen Fracking-Debatten ergänzt. Die

diskursiven Konfliktverläufe werden auf der jeweiligen nationalen öffentlich-politischen Ebene und ergänzend in regionalen Fallstudien rekonstruiert. Eine Besonderheit der im Fokus stehenden Kontroversen besteht darin, dass ökologische Argumente und Nachhaltigkeitsstrategien bei allen Konfliktparteien beobachtbar sind. Die sich daraus ergebenden gesellschaftlichen Dynamiken gilt es in den kommenden drei Jahren weiter auszuloten.

## Literatur

- Bloomberg Intelligence (2016): Fracking in Europe, <https://www.bloomberg.com/quicktake/fracking-europe> (28.09.2017).
- Keller, R. (2011): *Wissenssoziologische Diskursanalyse. Grundlegung eines Forschungsprogramms*, 3. Auflage, Wiesbaden: Springer VS.
- (UBA) Umweltbundesamt (2011): Einschätzung der Schiefergasförderung in Deutschland, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/stellungnahme\\_fracking.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/stellungnahme_fracking.pdf).
- (UBA) Umweltbundesamt (2014): Umweltauswirkungen von Fracking bei der Aufsuchung und Gewinnung von Erdgas insbesondere aus Schiefergaslagerstätten. Teil 2, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_53\\_2014\\_umweltauswirkungen\\_von\\_fracking\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_53_2014_umweltauswirkungen_von_fracking_0.pdf).





# WISSENSVERMITTLUNG UND ANWENDUNG

105 Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen:  
Umweltschutz heute

# Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen: Umweltschutz heute

## PROJEKTTEAM

- PD Dr. Jens Soentgen  
jens.soentgen@wzu.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 3560
- Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
jucundus.jacobeit@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2662
- Prof. Dr.-Ing. Christine Schwaegerl  
christine.schwaegerl@hs-augsburg.de  
0821 5586 1054
- Dr. Katharina Stroh  
katharina.stroh@lfu.bayern.de  
Tel.: 0821 9071 5257
- Dr. Ulrike Beyer  
ulrike.beyer@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2754
- Dr. Oliver Böhm  
oliver.boehm@geo.uni-augsburg.de  
Tel.: 0821 598 2667

## Die Vortragsreihe Umweltschutz heute – Erfolge, Probleme, Perspektiven

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie die Mitglieder des WZU beteiligen sich jedes Semester an zahlreichen disziplinübergreifenden Lehrveranstaltungen zu Umweltthemen. Statt einer Aufzählung soll beispielhaft die Vorlesung Umweltschutz heute dargestellt werden, die seit dem Sommersemester 2009 gemeinsam mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) geplant und umgesetzt wird.

Es waren der damalige Präsident des LfU, Professor Dr.-Ing. Albert Göttle, sowie Dr. Thomas Henschel (LfU), Dr. Katharina Stroh (LfU) wie auch Prof. Dr. Jucundus Jacobeit und Dr. Jens Soentgen von der Universität Augsburg, die die ersten Folgen der Reihe planten und organisierten. Bis heute sind Dr. Katharina Stroh und PD Dr. Jens Soentgen für Planung, Organisation und Durchführung zuständig. Auf Seiten der Geographie wird ein ergänzendes Seminar angeboten, das von Dr. Oliver Böhm bzw. Dr. Ulrike Beyer durchgeführt wird. So kann der Lehrstoff vertieft werden. Die Lehrveranstaltung hat den Anspruch, aus erster Hand, durch Fachleute aus dem LfU sowie Experten von der Universität und – nicht zuletzt – auch durch externe Gäste, kompetent und zugleich praxisnah über aktuelle Themen des Umweltschutzes zu informieren und diese zu diskutieren. International bekannte Umwelt- und Naturschützer wie etwa Prof. Dr. Wolfgang Haber, der die wissenschaftliche und politische Entwicklung des Naturschutzes in Deutschland entscheidend mitgeprägt hat, haben die Vorlesung bereichert (siehe Abb. 1). Auch internationale

## Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen: Umweltschutz heute



Abb.1: Prof. Dr. Wolfgang Haber im LfU

Gäste konnten wir begrüßen, so luden wir im Kontext unserer Kooperation mit dem LfU z.B. Jesús Garzón, Schäfer (vgl. Abbildung 2) und einer der wichtigsten Naturschützer Spaniens, nach Augsburg ein. Unsere Gäste bringen uns neue Perspektiven, sie berichten von erfolgreichen (oder manchmal auch weniger erfolgreichen) Strategien und erweitern so nicht nur unseren Horizont, sondern helfen uns, Lösungen zu finden.

Jedes Semester steht in der Vorlesung ein anderes Thema im Mittelpunkt: Klimawandel und Klimaschutz, Schutz der natürlichen Ressourcen, Natur und Landschaft, Energie und Ökologie. Im Sommersemester 2017 sprachen wir – auch vor dem Hintergrund des Forschungsschwerpunktes Environmental Health Sciences an der neu gegründeten Medizinischen Fakultät der Universität Augsburg – über Umwelt und Gesundheit.

Forschung zum Thema Umwelt und Gesundheit hat in Augsburg eine lange Tradition und heute schon internationales Renommée. Mit der Kohortenstudie „Monica“ wurde eine erste große Studie schon in den 1980er Jahren begonnen; zahlreiche weitere Studien wurden und werden in Augsburg, stets in Kooperation mit dem Klinikum, seither durchgeführt. So ist eines der größten Studienzentren der aktuellen Nationalen Gesundheitsstudie NaKo in Augsburg angesiedelt. Seit 2003 besteht ein kontinuierlich fortgesetzter Kooperationsvertrag zwischen dem WZU und dem Helmholtz Zentrum München (HMGU).

In der Vorlesung stand inhaltlich zunächst der Klimawandel auf dem Programm, der auch in unseren Breiten, wie Abschätzungen zeigen, vielfältige Wirkungen auf die Gesundheit haben kann. Gute, saubere Luft ist der wichtigste gesundheitsrelevante Umweltfaktor. Umgekehrt führt schlechte, verschmutzte Luft nicht nur zu Lungenerkrankungen, sondern auch zu kardiovaskulären Erkrankungen und spielt sicher auch eine wichtige Rolle bei verschiedenen neurologischen Erkrankungen. Mancherorts, etwa in China und Indien gehört verschmutzte Luft zu den wichtigsten Todesursachen, aber auch in Europa rechnet man mit 600.000 vorzeitigen Todesfällen pro Jahr. Das entspricht Kosten von 1,5 Billionen Euro: nur durch schlechte Luft. Dabei spielen feine Partikel – der sogenannte Feinstaub – eine zentrale Rolle. Jeder vierte Bürger Europas erkrankt aufgrund von Umweltbelastungen oder stirbt sogar daran, hat die WHO kürzlich in einer Studie festgestellt. Auf die gesundheitliche Bedeutung und die Messung von Luftschadstoffen gingen daher mehrere Vorträge ein (WHO 2015).

## Disziplinübergreifende Lehrveranstaltungen: Umweltschutz heute

Neben der Luft war auch der Lärm Gegenstand eines instruktiven Vortrags; der Vortrag wurde um eine Begehung des sogenannten reflexionsarmen Raumes im LfU ergänzt. Starkregenereignisse können verheerend sein – das haben die Ereignisse etwa in Simbach (Bayern) gezeigt. Aber nicht nur im akuten Katastrophenfall wird Hilfe benötigt, sondern auch langfristig. Die psychischen Folgen von Naturkatastrophen sind ein bisher wenig beachtetes Thema,



Abb. 2: Jesús Garzón (2. v. l.), einer der profiliertesten Naturschützer Spaniens, trug im LfU vor und informierte sich im Augsburger Stadtwald über die Beweidungsprojekte des Landschaftspflegeverbandes.

werden im Zuge der Klimaveränderungen jedoch an Brisanz gewinnen und wurden daher mit Blick auf aktuelle Forschung dargestellt. Weitere Themen waren Arzneistoffe in der Umwelt und die Bewertung von Chemikalien sowie aktuelle Forschungsschwerpunkte der Umweltmedizin.

Insgesamt machte die Vortragsreihe deutlich, dass die Umwelt nicht nur pathogen, also krankheitserzeugend sein kann. Vielmehr hat eine gesunde, naturnahe Umwelt auch salutogenetische Bedeutung, erhält die Gesundheit oder hilft dabei, sie wieder herzustellen.

Die Vorlesung richtet sich an Studierende der Geographie sowie der Umweltethik und wird auch von Studierenden umweltbezogener Studiengänge der Hochschule Augsburg besucht. Auch viele Fachleute aus dem LfU nutzen die Vorträge, um sich über aktuelle Entwicklungen zu informieren. Nicht zuletzt freuen wir uns, dass auch Bürgerinnen und Bürger, die sich für Umweltthemen engagieren, regelmäßig dabei sind und mitdiskutieren. Das Interesse ist dabei seit Jahren stabil auf einem hohen Niveau.

### Literatur

WHO (2015): *Neue Untersuchung der WHO belegt: Luftverschmutzung kostet Volkswirtschaften in der Europäischen Region jährlich 1,6 Billionen US-\$ in Form von Krankheitslast und Todesfällen*, [http://www.euro.who.int/de/media-centre/sections/press-releases/2015/04/air-pollution-costs-european-economies-us\\$-1.6-trillion-a-year-in-diseases-and-deaths,-new-who-study-says](http://www.euro.who.int/de/media-centre/sections/press-releases/2015/04/air-pollution-costs-european-economies-us$-1.6-trillion-a-year-in-diseases-and-deaths,-new-who-study-says).

# IM GESPRÄCH

109 mit Prof. Dr. Sean McGrath





# Im Gespräch mit Prof. Dr. Sean McGrath

*Sean J. McGrath ist Inhaber des Lehrstuhls für Philosophie (Full Professor) und zugleich Direktor des Instituts für Philosophie an der Memorial University of Newfoundland in St. John's, Kanada. Er forscht und lehrt in den Bereichen Umweltphilosophie, Metaphysik und klassische Deutsche Philosophie (von Kant bis Heidegger). Nach seinem Studium an der Universität in Toronto (Theologie und Philosophie) schloss er mit der Dissertation ab, die später unter dem Titel „The Early Heidegger and Medieval Philosophy: Phenomenology for the Godforsaken“ (Catholic University of America Press, 2006, preprint 2013). Im Auftrag des Centre for Theology and Philosophy an der University of Nottingham verfasste er daraufhin Heidegger: A (Very) Critical Introduction (Erdmans, 2008). Von 2008 bis 2011 war er Humboldt Fellow, seine Forschungsergebnisse aus dieser Zeit wurden 2012 unter dem Titel „The Dark Ground of Spirit: Schelling and the Unconscious“ bei Routledge publiziert. Weiterhin publizierte er mehr als sechzig Fachbeiträge und editierte mehrere Sammelwerke. Er ist Gründer von For a New Earth, einer in Neufundland und Labrador ansässigen Initiative für Integrale Ökologie. Zudem ist er Mitglied der Royal Society of Canada, sitzt der Nordamerikanischen Schelling Gesellschaft vor (die er 2011 mit Jason Wirth gründete) und ist Herausgeber der Analecta Hermeneutica.*

*Sean, warum kann man sagen, dass Neufundlands ökologische Probleme typisch für das Anthropozän sind?*

**McGrath:** Neufundland und Labrador sind in vielerlei Hinsicht ein Paradebeispiel für das Anthropozän. Seit dem 16. Jahrhundert gab es Kolonialisierungsbestrebungen von fast allen europäischen Seemächten – insbesondere von den Engländern. Neufundland und Labrador wurden

dann rücksichtslos besiedelt und eine brutale Ausbeutung menschlicher und natürlicher Ressourcen durch die Europäer und später Nordamerikaner begann. Zunächst waren es Fischerboote, die von der Westküste Englands starteten, um im Sommer vor den Küsten Neufundlands und Labradors zu fischen; im Herbst kehrten sie dann mit vollen Ladungen eingesalzenem Kabeljau zurück. Auf dem Weg hielten sie in Irland, um billige Arbeitskräfte aufzunehmen. Die Iren, die an Bord gingen, waren beinahe Sklaven, immerhin erhielten sie nach getaner Arbeit die Chance, ein Stück Land urbar zu machen und konnten dann versuchen, die extrem harten Winter in Neufundland zu überleben. Viele verließen Irland, um dem Hunger und dem Elend zu entfliehen; sie und ihre Nachfahren bildeten dann auf Neufundland eine neue, einzigartige Gemeinschaft, mit eigenen Dialekten, Traditionen, eigener Architektur und Ökonomie. Von einer solchen Einwandererlinie stamme auch ich selbst ab. Wie malerisch und entlegen die Gegend auch war, der Zweck der Kolonie war die Ausbeutung der Ressourcen; insbesondere der reichen Kabeljau-Bestände vor der Küste der Insel.

*Der Kabeljau wurde dann der Insel zum Schicksal?*

**McGrath:** Ja, früher war dieser Fisch ungeheuer reichhaltig vorhanden. Es gibt Holzschnitte aus der frühen Zeit der europäischen Kolonisierung, die zeigen, wie die Fischer einfach Eimer in die See werfen und sie dann, gefüllt mit Fisch, wieder hochholen. Und die Arbeiter an Land beschwerten sich, dass sie die ganze Zeit Lachs essen müssten! 1949 wurde dann Neufundland von einem mehr oder weniger bankrotten Großbritannien an Kanada verkauft. Zugleich hatte man vor, weiter von der Industrialisierung der äußerst lukrativen neufundländischen

## Im Gespräch mit Prof. Dr. Sean McGrath

Fischerei zu profitieren. Tatsächlich wandelte sich die Fischerei rasch zur Industrie. Das Ergebnis von all dem war, dass Neufundland und Labrador einen der gewaltigsten Zusammenbrüche einer natürlichen Ressource erlebten. 1992 endete die Kabeljau-Fischerei vor Neufundland. Wissenschaftler hatten bestätigt, was die Fischer schon lange wussten, dass man nämlich die nördlichen Kabeljau-Populationen bis fast zur Ausrottung überfischte hatte. Ein Moratorium wurde verfügt und 35.000 Menschen in Neufundland verloren ihre Arbeit. Viele Fischfabriken wurden geschlossen, zahlreiche Familien verließen die Insel für immer. Andererseits wurden Offshore-Ölvorkommen entdeckt und seit den 1990er Jahren ist Neufundland fast vollkommen von der Ölförderung, der Öltraffination und dem Verkauf von Öl abhängig. Von genau jenem Öl, das eigentlich, wenn man an den Klimawandel denkt, im Boden bleiben sollte...

*Wie steht es mit den indigenen Völkern in Neufundland?*

**McGrath:** Wir haben hier eine lange Geschichte der Verletzung indigener Rechte. Die ursprünglich hier lebenden Natives, die Beothuk, mit denen sich bereits die Wikinger auf Neufundland auseinandergesetzt hatten, wurden gejagt, sie wurden im 19. Jahrhundert ausgerottet. Aber auch heute setzt sich die traurige Geschichte fort. Ein riesiges Dammbauprojekt, das zu einem Wasserkraftwerk am unteren Churchill River in Labrador gehört, in unmittelbarer Nähe der Muskrat Falls, dessen Kosten gegenwärtig explodieren, wird den Norden für viele indigene Gruppen, insbesondere für die Innu, eine dort ansässige Gruppe nordamerikanischer Indianer, vergiften, weil durch die Maßnahme Quecksilber im Boden mobilisiert wird und in die Nahrungsketten kommt. Ganz davon abgesehen, dass

durch dieses Megaprojekt die Installation anderer Formen grüner Energie erschwert wird.

*Welche Schlüsse ziehst Du aus diesen Entwicklungen?*

**McGrath:** Wir müssen unsere Ökonomie diversifizieren und sie muss grün oder jedenfalls grüner werden. Wir müssen unsere ländlichen Gemeinschaften revitalisieren. Wir müssen unsere Nahrungsmittel in viel größerem Umfang vor Ort anbauen. Und das ist möglich, denn unser Land ist reich an Ressourcen. Und dies bei einer relativ geringen Einwohnerzahl.

*Welche Rolle haben die First Nations heute in Neufundland?*

**McGrath:** Es gibt drei größere Gruppen, die sagen, dass ein Teil der Provinz ihre angestammte Heimat sei. Das sind die Mi'kmaq, die Innu und die Inuit. Seit einiger Zeit mischen diese Gruppen sich in die politische Diskussion ein, etwa durch Protest-Aktionen. Im Dezember 2016 besetzte eine überwiegend aus Indigenen bestehende Gruppe namens ‚land protectors‘ die Büros von Nalcor, einem Energieunternehmen, das der Regierung gehört. Ziel war, gegen das Projekt an den Muskrat Falls zu protestieren. Der Protest hat zwar nicht dazu geführt, dass der Bau des Dammes gestoppt wurde, aber in der Folge wurden doch einige Maßnahmen ergriffen, um die Kontamination der Gegend mit methyliertem Quecksilber zu mindern.

*Was haben die Humanities in der ökologischen Krise an Perspektiven und Lösungsansätzen beizusteuern?*

**McGrath:** In unserem Philosophie-Department an der Memorial University sind wir sehr interessiert an einem Konzept einer integralen Ökologie: Eine Ökologie, die

## Im Gespräch mit Prof. Dr. Sean McGrath

nicht länger die ökologischen Themen nur den Naturwissenschaften überlässt, sondern die Debatte für alle öffnet. Weil es in ökologischen Diskussionen eine Konvergenz von philosophischen, metaphysischen, politischen und historischen Fragen einerseits mit naturwissenschaftlichen und andererseits ökonomischen Themen gibt. Die Künste und die Naturwissenschaften können gemeinsam zu einem ökologischeren Lebensstil beitragen – hierfür haben wir For a New Earth gegründet.

*Welche Bedeutung haben ökologische Themen in der öffentlichen und politischen Debatte in Kanada?*

**McGrath:** Die derzeitige liberale Regierung unter Prime Minister Justin Trudeau hat Ökologie und insbesondere den Klimawandel zu einem zentralen Thema ihrer Politik gemacht. So wurden etwa Kohlenstoff-Steuern in allen Provinzen eingeführt. Zugleich bleibt die Regierung aber den fossilen Energierohstoffen tief verbunden, weil die erdöl- und erdgasfördernden Industrien eine große Bedeutung für die kanadische Wirtschaft haben. So wird weiterhin der Plan verfolgt, umstrittene Pipelines zu bauen, die helfen sollen, fossile Energieträger in den Süden des Kontinents zu transportieren. Viele Kanadier, auch ich selbst, fragen sich, wie diese zwei Agendas, einerseits den Klimawandel zu bekämpfen, und andererseits die fossilen Energieträger weiter zu fördern, zusammengehen.

*Es gibt philosophische Positionen, wonach es gar keine Natur mehr gibt. Was steckt dahinter?*

**McGrath:** Der Topos eines ‚death of nature‘ gelangte in die neuere ökologische Debatte in der englisch-sprachigen Welt vor allem durch die Publikationen von drei herausragenden Denkern: Timothy Morton, Bruno Latour und

Slavoj Žižek. Im Gegensatz zu älteren Varianten dieses Gedankens, die im Werk etwa von Carolyn Merchant und Bill McKibben in den 1980er Jahren formuliert wurden, geht es bei diesem neuen ‚Tod der Natur‘ nicht darum, dass die Wildnis verschwindet oder die Verstädterung der Landschaft zunimmt. Es geht vielmehr um das Naturkonzept selbst. Der Begriff der Natur habe vielmehr, so glauben jene eco-critics, jegliche Bedeutung verloren. Der Konsens der neueren Autoren ist: Natur bedeutet das Andere zum Menschen. Wir nennen dasjenige natürlich, das nicht-menschlich ist und das unabhängig von Menschen blüht und gedeiht. Und wenn wir dieses Konzept voraussetzen, sagen diese Kritiker, dann geraten wir sofort in einen politisch machtlosen Romantizismus. 2014 erhielt ich ein Stipendium des Social Sciences and Humanities Research Councils, um genau dies zu untersuchen: Ist die Natur wirklich tot? Was bedeutete der Begriff ursprünglich?

*Was könnte denn der Begriff der Natur im Anthropozän bedeuten?*

**McGrath:** Oh, dazu wird auch demnächst ein Buch von mir erscheinen: *Thinking nature: An Essay in Negative Ecology*. Ich glaube, dass Morton, Latour und Žižek unser Symbol der Natur mit dem technischen oder wissenschaftlichen Begriff verwechselt haben. Als Symbol ist Natur mit vielen widersprüchlichen Bedeutungen aufgeladen. Als lebendiges Symbol aber kann es den Tod oder auch die Transformation der ursprünglichen Bedeutungen des Begriffs überleben. Natur im Anthropozän kann nicht mehr bedeuten, was sie ursprünglich bedeutet haben mag. Es ist nicht mehr das Andere zum Menschen, nicht mehr der stabile kosmische Hintergrund menschlichen Lebens.

## Im Gespräch mit Prof. Dr. Sean McGrath

Aber damit ist doch nicht gesagt, dass Natur nun nichts mehr bedeutet oder dass das Konzept nicht noch andere Bedeutungen annehmen könnte! Negative Ökologie, wie ich sie verstehe, muss abgetragene Bedeutungen, die nicht länger haltbar sind, aus unserem Konzept der Natur entfernen, hat aber zugleich die konstruktive Aufgabe, Natur neu zu denken. Es ist doch klar, dass Natur immer noch etwas für uns bedeutet und dass sie immer noch die zündende Lösung für die Umweltbewegung ist, auch wenn wir Probleme haben, genau zu sagen, was Natur heute bedeuten könnte, in einer Zeit des Klimawandels, des Geoengineering und der globalen Technosphäre. Aber dasselbe könnte man von anderen zentralen Konzepten wie Freiheit oder Gleichheit ebenfalls sagen. Und doch schlägt niemand vor, diese ebenfalls abzuschaffen.

*Welchen Sinn sollte der Naturbegriff künftig haben?*

**McGrath:** Nun, auch hier kommt For a New Earth ins Spiel, ich erinnere an unsere Future of Nature Initiative. Auf dem Festival bzw. der Konferenz im Gros Morne National Park in 2015 wollten wir ja eben darauf hinaus: zu feiern, was wir lieben und was wir schützen wollen und zugleich Naturwissenschaftler, Politiker und Künstler zusammenbringen, um neu zu denken, um gemeinsam zu erkunden, welches Naturkonzept heute an der Zeit ist. Und hier kommt auch unsere Zusammenarbeit mit der Universität Augsburg ins Spiel, mit dem Institut für Philosophie und dem Wissenschaftszentrum Umwelt. Unser Austausch ist seit mehreren Jahren sehr intensiv, er wird gestärkt durch Studierendenaustausch, durch Adjunct-Professorships, durch Konferenzen und durch die Kooperation bei unseren Masterprogrammen. Und da wollen wir weitergehen, wir wollen diese transatlantischen öko-

logischen und wissenschaftlichen Projekte intensivieren und noch stärkere Bande knüpfen. Wir freuen uns darauf! Was könnte spannender, was könnte wichtiger sein?



## DAS WZU

- 114 Profil
- 115 Das Team am WZU
- 116 Die Mitglieder des WZU
- 121 Aktuelle Publikationen



# Profil

Aktuelle Fragen der Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung entstehen oft im Grenzgebiet wissenschaftlicher Disziplinen und an den Grenzen von Wissenschaft und Gesellschaft. Das Wissenschaftszentrum Umwelt der Universität Augsburg führt daher die umweltwissenschaftlichen Kompetenzen der Universität Augsburg zusammen und verbindet sie mit externen Forschungsinstitutionen sowie mit den im Umweltbereich tätigen Institutionen, NGOs und Unternehmen. Die Initiative für die Gründung des WZU ging im Jahr 2000 von WissenschaftlerInnen aus natur- und sozialwissenschaftlichen sowie geisteswissenschaftlichen Disziplinen der Universität Augsburg aus, die durch fächerübergreifende Arbeit innovative, anwendungsorientierte Ergebnisse in der Umwelt- und Nachhaltigkeitsforschung erzielen wollten.

Mittlerweile gehören mehr als 70 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zum Kreis der WZU-Mitglieder. Das WZU ist seit 2016 eine Zentrale Einrichtung der Universität Augsburg.

Durch die vielfältigen Erfahrungen und Kompetenzen der WZU-Mitglieder entfaltet sich in unseren Projekten, in Mitgliederversammlungen und Tagungen die Produktivkraft des interdisziplinären Dialogs. Die offene und kreative Netzwerk-Atmosphäre ist die wesentliche Stärke unserer Einrichtung. In ihr entstehen neue Ideen, und, wenn alles glücklich läuft, aus diesen Ideen wegweisende Projekte. So zum Beispiel die Entwicklung von webbasierten Risikokartierungen, ressourcenstrategische Konzepte für Politik und Unternehmen oder auch Energiekonzepte für Kommunen. Im Bereich Umwelt und Gesundheit sind wir seit vielen Jahren mit mehreren Partnern aus Medizin

und Epidemiologie besonders im Bereich der Expositionsforschung aktiv. Neben umweltnaturwissenschaftlichen Projekten sind uns die Environmental Humanities ein zentrales Anliegen.

Wir versuchen, innovative, disziplinübergreifende Projekte zu ermöglichen, indem wir strukturelle und finanzielle Hürden aus dem Weg räumen. Das gelingt, indem wir Vertrauen über die Grenzen von Disziplinen, Fakultäten und Institutionen hinweg schaffen. Davon profitieren Forschung und Lehre an der Universität Augsburg: Aus der Kooperation am WZU ist beispielsweise der von Prof. Dr. Armin Reller entwickelte Forschungsschwerpunkt Ressourcenstrategie hervorgegangen, der heute zum Profil der Universität Augsburg beiträgt. Auch der Forschungsschwerpunkt Umwelt und Gesundheit (Environmental Health Sciences) der zukünftigen Medizinischen Fakultät basiert wesentlich auf den seit 2004 aufgebauten Forschungsaktivitäten, Forschungsnetzwerken und Forschungskonzepten des WZU.

In der Lehre erproben wir neue Methoden – insbesondere rund um unser Konzept der Stoffgeschichten – und entwickeln disziplinübergreifende Seminare, Vorlesungen und Studiengänge. Das bereichert seit Jahren die Ausbildung von Studierenden der Universität Augsburg über die Fächer- und Fakultäts Grenzen hinweg.

# Das Team am WZU

## Vorstand

Prof. Dr. Armin Reller, Sprecher  
Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
Prof. Dr. Marita Krauss  
PD Dr. Jens Soentgen

## Sekretariat

Regina Rott

## Wissenschaftliche Mitarbeiter

Christian Böckenholt  
Dr. Julia Fendt  
Karen Froitzheim  
Esther Giemsa  
Severin Kaspar  
Thomas Kusch (Messtechniker)  
Dr. Regina Pickford  
Reiner Schwandt  
Dr. Stefanie Seubert  
PD Dr. Jens Soentgen  
Prof. Dr. Dr. Bernd Wagner (Scientific Director)  
Stefan Weishaupt

## Wissenschaftliche und studentische Hilfskräfte

Sandra Burger  
Marina Ederer (ForCYCLE)  
Stefan Fendt  
Jenny Huch  
Robin Umminger

## Lehrstuhl Ressourcenstrategie am WZU

Prof. Dr. Armin Reller, Lehrstuhlinhaber  
Prof. Dr. Richard Weihrich  
Renate Diessenbacher, Sekretariat  
Sebastian Haumann  
Korbinian Koehler  
Dr. Simon Meißner  
Dr. Andrea Thorenz  
Sophie Zocholl  
Linda Söhnlein

# Die Mitglieder des WZU

## **Prof. em. Dr. Helmut Altenberger \***

Zentralinstitut für didaktische Forschung und Lehre,  
Institut für Sportwissenschaft, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Elisabeth André**

Institut für Informatik, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Wassilios Baros**

Lehrstuhl für Pädagogik, Universität Augsburg

## **PD Dr. Christoph Beck**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **Dr. Ulrike Beyer**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Helena Bilandzic**

Institut für Medien, Wissen und Kommunikation,  
Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Michael Bittner**

DLR, Earth Observation Center

## **PD Dr. Stefan Böschen**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Institut für Technikfolgenabschätzung und  
Systemanalyse (ITAS)

## **Prof. Dr. Klaus Bredl**

Institut für Medien, Wissen und Kommunikation,  
Universität Augsburg

## **Thomas Cyris**

Sicherheitsingenieur, Universität Augsburg

## **Dr. Josef Cyrys**

Helmholtz Zentrum München

## **Prof. Dr. Ulrich Eckern**

Institut für Physik, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Stefan Emeis**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Institut für Meteorologie und Klimaforschung -  
Institut für Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU)

## **Dr. Martinus Fesq-Martin**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Peter Fiener**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **Prof. Dr. Arne Friedmann**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **PD Dr. Sven Grashey-Jansen**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **RD Klaus Hager**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## **Dr. Riyaz Haider**

Firma BioSustain, Augsburg/Dar-es-Salaam

## Die Mitglieder des WZU

### **Prof. Dr. Thomas Hamacher \***

TU München, Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik

### **Dr. Eckhard Hartmann \***

Fachgruppe Biologie, Universität Augsburg

### **Dr. Johanna Hartmann**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

### **Dr. Stefan Hartmann**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

### **Dr. Wolfgang Hatz \***

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Thomas Hausmanninger \***

Katholisch-Theologische Fakultät, Universität Augsburg

### **Dr. Julia von Hayek**

Zentrum für Interdisziplinäre Gesundheitsforschung, Universität Augsburg

### **Dr. Thomas Henschel**

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

### **PD Dr. Elke Hertig**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **PD Dr. Markus Hilpert**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Dr. Gabriele Höfner \***

Marketing/Fundraising, Präsidium, Universität Augsburg

### **Dr. Ulrich Hohoff \***

Direktor Universitätsbibliothek, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Ronald H.W. Hoppe**

Institut für Mathematik, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Siegfried Horn**

Institut für Physik, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Jucundus Jacobeit**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Reiner Keller**

Lehrstuhl für Soziologie, Universität Augsburg

### **Dr. Sebastian Kistler**

Katholisch-Theologische Fakultät, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Martin Kment**

Juristische Fakultät, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Marita Krauss**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Jukka M. Krisp**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

## Die Mitglieder des WZU

### **Prof. Dr. Harald Kunstmann**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Institut für Meteorologie und Klimaforschung -  
Institut für Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU)  
Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Christoph Lau (i. R.)**

Institut für Soziologie, Universität Augsburg

### **Dr. Stefan Lindl**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Alois Loidl**

Institut für Physik, Universität Augsburg

### **Dr. Luitgard Marschall \***

München

### **Prof. Dr. Johannes Masing**

Institut für Öffentliches Recht, Universität Freiburg

### **Prof. Dr. Eva Matthes**

Lehrstuhl für Pädagogik, Universität Augsburg

### **Dr. Simon Meißner**

Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Peter Michaelis \***

Institut für Volkswirtschaftslehre, Universität Augsburg

### **PD Dr. Timo Müller**

Lehrstuhl für Amerikanistik, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Ulrike Ohl**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. em. Dr. Gerd Peyke**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **PD Dr. Andreas Philipp**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Dr. Joachim Rathmann**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Armin Reller**

Institut für Physik, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Thomas Rist**

Fakultät für Informatik, Hochschule Augsburg

### **Prof. em. Dr. Franz Schaffer**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Lothar Schilling**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

### **Dr. Walter Schindler**

München

### **Dr. Christopher Schliephake**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Kerstin Schlögl-Flierl**

Katholisch-Theologische Fakultät, Universität Augsburg



## Die Mitglieder des WZU

### **PD Dr. Claudia Schmidt**

Lehrstuhl für Ressourcenstrategie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Matthias Schmidt**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. em. Dr. Reiner Schmidt \***

Juristische Fakultät, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Ing. Christine Schwaegerl**

Fakultät für Elektrotechnik, Hochschule Augsburg

### **Prof. Dr. Elke Seefried**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg,  
IFZ, München

### **Dr. Stefanie Seubert**

Wissenschaftszentrum Umwelt, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Natascha Sojc**

Professur für Klassische Archäologie,  
Universität Augsburg

### **Prof. em. Dr. Bernd Stritzker \***

Institut für Physik, Universität Augsburg

### **Dr. Markus Strobel**

Institut für Management und Umwelt, Augsburg

### **Dr. Peter Suppan**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT),  
Institut für Meteorologie und Klimaforschung -

Institut für Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU)

### **Prof. Dr. Sabine Timpf**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Axel Tuma**

Institut für Materials Resource Management,  
Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Uwe Voigt**

Lehrstuhl für Philosophie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Bernd Wagner**

Wissenschaftszentrum Umwelt, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Richard Weihrich**

Institut für Materials Resource Management,  
Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Christoph Weller**

Institut für Politikwissenschaft, Universität Augsburg

### **Frank Werner**

Director WEC Europe,  
World Environment Center, München

### **Prof. Dr. Karl-Friedrich Wetzel**

Institut für Geographie, Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Hubert Zapf**

Philologisch-Historische Fakultät, Universität Augsburg



## Die Mitglieder des WZU

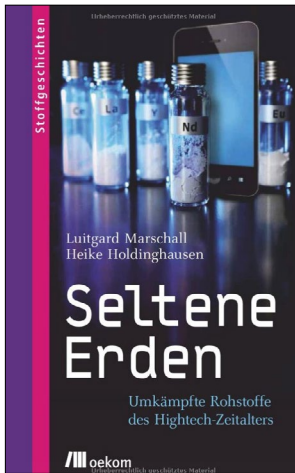
### **Dr. Thomas Ziesemer**

Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät,  
Universität Augsburg

### **Prof. Dr. Ralf Zimmermann**

Institut für Chemie, Universität Rostock  
Institut für ökologische Chemie,  
Helmholtz Zentrum München

# Aktuelle Publikationen



Luitgard Marschall  
Heike Holdinghausen

## Seltene Erden

*Umkämpfte Rohstoffe des  
Hightech-Zeitalters*

Der wichtigste Rohstoff der deutschen Industrie ist der Erfindungsgeist ihrer Ingenieure. Dieses Bonmot ist richtig, aber ganz ehrlich ist es nicht. Denn ohne Rohstoffe kommt auch der klügste Ingenieur nicht weit. Während Rohstoffe wie Eisen oder Aluminium unerschöpflich erscheinen, sieht es bei den sogenannten Seltenen Erden anders aus – wenn auch vor allem deshalb, weil der Quasi-Monopolist China die Mengen diktieren kann, die dem Markt zur Verfügung stehen. Ihre besondere Bedeutung verdanken die 17 Metalle der Tatsache, dass sie in äußerst sensiblen Bereichen Einsatz finden: Von der Militärtechnologie bis zur Kommunikations- und Energietechnik gestalten wir mit ihrer Hilfe unseren modernen Alltag. Der zehnte Band der Reihe Stoffgeschichten gibt dem Unbekannten wie Unverzichtbaren ein Gesicht, informiert über Geschichte, Verwendung und Bedeutung von Neodym, Europium & Co.



Jens Soentgen

## Ökologie der Angst

Auch Tiere haben Angst, im Brennpunkt des Emotionslebens der meisten höheren Tiere steht die Angst vor dem Menschen. Jens Soentgen nimmt die Angst als Ausgangspunkt einer Ökologie von innen und trägt damit einen entscheidenden Aspekt zur Ökologie des Anthropozäns bei. Seine These: Die Relationen zwischen Feind und Beute haben ein subjektives, emotionales und kognitives Moment, das ökologisch bedeutsam ist. Das weltweite Töten der Tiere durch den Menschen bewirkt nicht nur eine drastische Reduktion von Populationen, es verbreitet Angst unter den Überlebenden. Diese Angst verwandelt das Verhalten, die Fortpflanzung, die Nahrungsaufnahme und die Bewegung der Überlebenden. Sie verstärkt die ökologische Abwärtsspirale.

## Aktuelle Publikationen



Gerhard Ertl  
Jens Soentgen (Hg.)

N

*Stickstoff - ein Element  
schreibt Weltgeschichte*

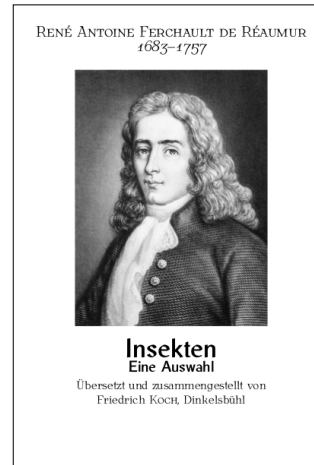
Er ist allgegenwärtig und knapp zugleich: Es dauerte bis zum Vorabend des Ersten Weltkrieges, ehe sich die Menschheit aus der Stickstoff-Falle befreien konnte. Fritz Haber und Carl Bosch erfanden ein Verfahren, mit dessen Hilfe der Stickstoff der Luft gebunden werden konnte, und brachten damit den künstlichen Dünger in die Welt. Was als Siegeszug begann, führte Jahre später zu einer wahren Stickstoffflut, die bis heute Gewässer schädigt, den Klimawandel befeuert und in Form von Nitrat das Trinkwasser beeinträchtigt.

*„Sehr lesenswert!“*

*Thomas M. Klapötke, Angewandte Chemie*

*„(Die Herausgeber) halten ihr Versprechen: Wer das Werk liest, erfährt wirklich ein Stück Weltgeschichte.“*

*Theresa Moebus, Spektrum der Wissenschaft*



René Antoine Ferchault de  
Réaumur (1683-1757)  
Übersetzt und ausgewählt  
von Friedrich Koch

Insekten

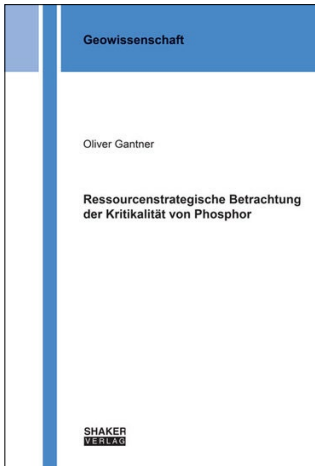
*Eine Auswahl  
Teil IV*

*Sandra Burger  
Jens Soentgen (Hg.)*

„Je mehr man den Hervorbringungen der Natur nachgeht, desto mehr offenbart sich ihre Unermesslichkeit“. Diesen oft wundersamen Hervorbringungen der Natur geht der französische Naturforscher René Antoine Ferchault de Réaumur in seinen insektenkundlichen Essays aus dem 18. Jahrhundert auf den Grund. Das umfangreiche Werk des Pioniers der Naturforschung ist nicht nur eine wissenschaftliche Spitzenleistung. Zugleich ist es auch brillant geschriebene Literatur, die mit bemerkenswerten, handgezeichneten Abbildungen Réaumurs versehen ist. Das WZU legte nun den Dritten und Vierten Teil einer Auswahl des Gesamtwerkes vor, die über den OPUS-Server der Universitätsbibliothek Augsburg in einer digitalen Ausgabe als erste deutsche Übersetzung kostenlos verfügbar sind. Übersetzt und ausgewählt hat sie Friedrich Koch (Dinkelsbühl). Herausgegeben wurde die Sammlung von Sandra Burger und Jens Soentgen.

<https://opus.bibliothek.uni-augsburg.de/opus4/37730>

## Aktuelle Publikationen



Oliver Gantner

### Ressourcenstrategische Betrachtung der Kritikalität von Phosphor

Aufgrund der hohen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Relevanz von Phosphor stellt sich die Frage nach dessen Ressourcenkritikalität. Neben den rohstoffspezifischen Eigenschaften von Phosphor liegt der Fokus insbesondere auf dessen Funktionen und damit verbundenen Prozessen. Dazu zählen Teilbetrachtungen wie die standortspezifische Analyse der Phosphatminen weltweit sowie das Ressourcenpotential der Begleitstoffe Fluor, Uran, Cadmium und Seltenerdmetalle im Phosphatgestein. Aufgrund relevanter Unterschiede innerhalb der Produktions- und Wertschöpfungskette für die unterschiedlichen Anwendungen von Phosphor wie Düngemittel, Futterphosphat und Phosphor für industrielle Anwendungen wurde die Kritikalität der Funktionen anhand von Fallbeispielen bewertet, wie Lithium-Eisen-Phosphat oder Glyphosat. Dabei wurde ein erheblicher Unterschied zwischen kritischen Rohstoffen und kritischen Funktionen nachgewiesen.



Michael Schweiger

### Einblicke in die Wasserkraft am Lech

*Arbeit im Spannungsfeld zwischen Ingenieurskunst, Betriebswirtschaft und Umweltschutz*

Wasserkraft zählt unstrittig zu der Liste der wertvollen erneuerbaren Energiequellen und besetzt unter diesen auch den Rang jener mit der längsten Tradition. Gleichsam kommt sie auch immer in den Sinn, wenn Überschwemmungsereignisse die Forderung nach gut ausgebauten Hochwasserschutzmaßnahmen laut werden lassen. Wasserkraftnutzung könnte den Gutteil der Investitionskosten tragen und, als positiven Nebeneffekt, zur Energiewende beitragen. Zur Frage, ob und wie das funktionieren kann, möchte das vorliegende Buch einen Beitrag leisten. Hier wird die nun schon mehr als ein halbes Jahrhundert währende großtechnische Nutzung der Wasserkraft am Lech unter die Lupe genommen, die ihn von einem bisweilen gefährlich reißenden Gebirgsfluss zu einer nahezu vollständig kontrollierten Stauseekette werden ließ.

## Aktuelle Publikationen

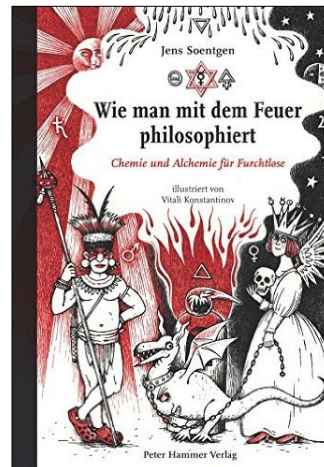


Armin Reller  
Luitgard Marschall  
Simon Meißner  
Claudia Schmidt (Hg.)

### Ressourcenstrategien

*Eine Einführung in den nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen*

Das Thema „zukunftsfähiger Umgang mit Ressourcen“ ist zurzeit hochaktuell. Jedoch gestalten sich die Zusammenhänge immer unübersichtlicher. Um die bisherige Entwicklung nachvollziehen zu können und neue Strategien für einen nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen zu entwickeln, müssen disziplinär begrenzte Sichtweisen überwunden werden. Die HerausgeberInnen unternehmen daher eine interdisziplinäre Betrachtung globaler Stoffkreisläufe und der weltweiten Verfügbarkeit wichtiger Rohstoffe.



Jens Soentgen  
Vitali Konstantinov  
(Illustrationen)

### Wie man mit dem Feuer philosophiert

*Chemie und Alchemie für Furchtlose*

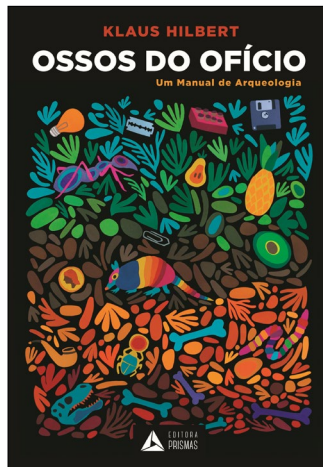
Wenn wir an Chemie denken, sehen wir Wissenschaftler in weißen Kitteln, die im Labor mit Erlenmeyerkolben und reinen Chemikalien über Bunsenbrennern hantieren. Oder wir denken an komplizierte Formeln, die wir schon in der Schule nicht verstanden haben. Wer weiß schon, dass die heutige Weißkittel-Chemie eine wunderbare wild-abenteuerliche Geschichte hat, die weit zurückreicht in die Wälder Amazoniens, in die Klöster und Schlösser Europas! Hier wurden schon vor Jahrhunderten über dem Feuer Stoffe verwandelt: die Rinde von Lianen in tödliches Gift, Komposterde in Schießpulver, Urin in leuchtenden Phosphor.

*„Höchste Auszeichnung für ein Sachbuch, das fabuliert!“  
HANS TEN DORNKAAT / NZZ*

*Ausgezeichnet als „Wissensbuch des Jahres 2016“*



## Aktuelle Publikationen



Klaus Hilbert

### Ossos do Ofício

*Um Manual de Arqueologia*

Klaus Hilbert, Jg. 1953, wurde in Belém am Amazonas geboren und wuchs in Brasilien und Deutschland auf. Er studierte Archäologie in Köln und Marburg und arbeitete anschließend am Museu Goeldi in Belém. Heute lehrt er am Institut für Geschichte der Pontifícia Universidade Católica in Porto Alegre, Brasilien. Hilbert ist Spezialist für die präkolumbische Geschichte Südamerikas, zu seinen Forschungsschwerpunkten zählen die Sambaquis (Muschelhaufen) an der brasilianischen Küste, die frühe Besiedlungsgeschichte des Kontinents sowie die Archäologie Amazoniens. Im Wintersemester 2010/2011 verbrachte er ein Forschungssemester am WZU der Universität Augsburg, seither besteht eine intensive Kooperation. In seinem Buch *Ossos do Ofício* (Knochenarbeit) erzählt er über die Orte, die Stoffe und die Dinge, mit denen der Archäologe zu tun hat, die er zu Geschichten verknüpft. Der Band ist eng mit dem Forschungsschwerpunkt Stoffgeschichten des Wissenschaftszentrums Umwelt verknüpft.







Universität Augsburg  
Wissenschaftszentrum  
Umwelt

Wissenschaftszentrum Umwelt  
Environmental Science Center  
Universität Augsburg  
Universitätsstraße 1a  
86159 Augsburg  
Tel.: +49 821 598 3560  
Fax: +49 821 598 3559  
E-mail: [info@wzu.uni-augsburg.de](mailto:info@wzu.uni-augsburg.de)  
[www.wzu.uni-augsburg.de](http://www.wzu.uni-augsburg.de)

Der Jahresbericht 2017 umfasst den Berichtszeitraum von  
Januar bis Dezember 2017.

## **HERAUSGEBER**

Prof. Dr. Armin Reller  
Prof. Dr. Jucundus Jacobeit  
Prof. Dr. Marita Krauss  
PD Dr. Jens Soentgen

## **REDAKTION**

PD Dr. Jens Soentgen  
Reiner Schwandt  
Stefan Fendt  
Dr. Stefanie Seubert

## **LAYOUT**

Stefan Fendt  
2bex Design+Konzept, Kaufbeuren